

МІНІСТРЕСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО»
Інститут матеріалознавства і зварювання ім. Є.О. Патона
КАФЕДРА ФІЗИКИ МЕТАЛІВ

До захисту допущено:
В.о. завідувача кафедри

«__»_____20__ р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 132 Матеріалознавство
на тему: «Формування зміцнених покриттів на сталі ХВГ послідовним
електроіскровим легуванням Cr та W»

Виконав:
студент II курсу
групи ФМ-91мп
Цехан М. С.

Керівник: доцент,
к.т.н., доцент Іващенко Є. В.

Консультант з охорони праці та
безпеки в надзвичайних ситуаціях:
д.т.н., професор Левченко О. Г.

Консультант з розроблення стартап-проекту:
к.е.н., доцент Нараєвський С.В

Консультант з нормоконтролю:
ас. Шаповалова Н. А.

Рецензент:
к.т.н., доцент Бобіна М.М.

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

Київ-2020

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона

Кафедра фізики металів

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 132 «Матеріалознавство»

Освітньо-професійна програма «Металофізичні процеси та їх комп'ютерне моделювання»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Цехану Максиму Сергійовичу

1. Тема дисертації «Формування зміцнених покриттів на сталі ХВГ послідовним електроіскровим легуванням Сг та W», науковий керівник дисертації Іващенко Євген Вадимович, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «16» листопада 2020 р. №3313-с.
2. Термін подання студентом дисертації _____
3. Об'єкт дослідження – процес формування мікроструктури та фазового складу поверхневих шарів на сталі ХВГ при ЕІЛ вольфрамом та хромом в різній послідовності.
4. Вихідні дані – поверхневі шари сталі ХВГ, отримані під час ЕІЛ вольфрамом та хромом в різній послідовності
5. Перелік завдань, які потрібно розробити:
 - 1) опрацювати фахові публікації за темою дослідження;
 - 2) визначити комплекс методик для проведення дослідження;
 - 3) провести процеси електроіскрового легування;
 - 4) дослідити вплив ЕІЛ на структуру та властивості утворених покриттів;
 - 5) провести аналіз результатів та зробити висновки по роботі.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 29 рисунків.

7. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	д.т.н, професор Левченко О.Г.		
Розробка стартап-проекту	к.е.н. доцент Нараєвський С.В.		
3 питань нормоконтролю	ас. Шаповалова Н. А.		

8. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Видача завдання		
2	Огляд сучасних наукових робіт та написання літературного огляду		
3	Освоєння методик дослідження		
4	Виконання експериментальних досліджень		
5	Отримання результатів та їх обговорення		
6	Написання висновку та переліку посилань		
7	Оформлення роботи		
8	Оформлення презентації та написання доповіді		
9	Попередній захист		
10	Захист на засіданні ЕК		

Студент

Цехан М.С

Науковий керівник

Іващенко Є.В

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: сторінки 69, таблиць 14, рисунків 29, формул 8, літературних джерел 47.

ЕЛЕКТРОІСКРОВЕ ЛЕГУВАННЯ, СТАЛЬ ХВГ, ЗМІЦНЕННЯ, ЛЕГОВАНІЙ ШАР, ВОЛЬФРАМ, ХРОМ

Об'єкт досліджень: поверхневі шари сталі ХВГ, отримані електроіскровим легуванням анодами вольфраму та хрому.

Мета роботи: встановити вплив послідовності ЕІЛ хромом і вольфрамом на мікроструктуру, фазовий склад, мікротвердість і зносостійкість поверхневих шарів сталі ХВГ.

Методи дослідження: гравіметричний, мікроструктурний, мікродюрOMETричний, рентгенофазовий та випробування на зносостійкість.

Результати досліджень та їх новизна: встановлена можливість підвищення мікротвердості поверхневого шару та збільшення зносостійкості сталі ХВГ при електроіскровому легуванні Cr та W, а також при постадійному легуванні цими елементами у різних послідовностях; показано, що ЕІЛ сталі ХВГ в послідовності W - Cr приводить до мікротвердості 12 ГПа та зростанню зносостійкості у 3,7 разів у порівнянні з необробленим зразком, а ЕІЛ при послідовності Cr - W приводить до зміни мікротвердості до 10 ГПа, а зносостійкість зростає у 6,5 разів.

Практичне значення: отримані в роботі експериментальні данні та встановлені закономірності формування фазового складу та властивостей зміцнених шарів після електроіскрового легування можуть бути використані для подовження строку експлуатації деталей машин та механізмів.

ABSTRACT

Master's dissertation: pages 69, tables 14, figures 29, formulas 8, literature sources 47.

ELECTRO SPARK ALLOYING, HVG STEEL, HARDENING, ALLOY LAYER, TUNGSTEN, CHROME.

Object of research: surface layers of HVG steel obtained by electrospark doping with tungsten and chromium anodes.

Purpose: to establish the effect of the sequence of EIL with chromium and tungsten on the microstructure, phase composition, microhardness and wear resistance of the surface layers of HVG steel.

Research methods: gravimetric, microstructural, microdiurometric, X-ray phase and wear resistance tests.

The results of research and their novelty: the possibility of increasing the microhardness of the surface layer and increasing the wear resistance of HVG steel during electrospark doping Cr, W, as well as during the gradual doping of these elements in different sequences; it is shown that EIL of HVG steel in the W - Cr sequence leads to a microhardness of 12 GPa and an increase in wear resistance by 3.7 times compared to the untreated sample, and EIL in the Cr - W sequence leads to a change in microhardness to 10 GPa, and wear resistance increases by 6 , 5 times.

Practical significance: the experimental data obtained in the work and the established patterns of formation of the phase composition and properties of the reinforced layers after electrospark alloying can be used to extend the service life of parts of machines and mechanisms.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП.....	9
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	10
1.1 ЕІЛ – ефективний метод обробки поверхні.....	10
1.2 Суть методу електроіскрової обробки поверхні	11
1.3 Моделі процесу ЕІЛ	12
1.4 Формування модифікованих покриттів на сталях з використанням методу ЕІЛ.....	14
1.5 Електродні матеріали для ЕІЛ.....	16
1.6 Висновки до розділу 1.....	20
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	21
2.1 Матеріали для дослідження.....	21
2.2 Електроіскрове легування	21
2.3 Методи дослідження зразків після ЕІЛ.....	22
2.3.1 Мікроструктурний аналіз.....	23
2.3.2 МікродюрOMETричний аналіз.....	24
2.3.3 Гравіметричний аналіз	24
2.3.4 Рентгенофазовий аналіз	25
2.3.5 Випробування на зносостійкість	26
2.4 Висновки до розділу 2.....	27
3 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	28
3.1 Електроіскрове легування сталі ХВГ хромом.....	28
3.2 Електроіскрове легування вольфрамом сталі ХВГ	31
3.3 Електроіскрове легування сталі ХВГ у послідовності вольфрам-хром	33
3.4 Електроіскрове легування сталі ХВГ у послідовності хром-вольфрам	37
3.5 Дослідження зносостійкості поверхонь сталі ХВГ після ЕІЛ	39
3.6 Висновки до розділу 3.....	40
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	42

4.1 Параметри приміщення	42
4.2 Фактори умов праці лабораторії №036	44
4.2.1 Аналіз мікроклімату лабораторії.....	44
4.2.2 Аналіз освітленості лабораторії	45
4.2.3 Аналіз шуму та вібрації в лабораторії	45
4.2.4 Розрахунок вентиляції.....	48
4.2.5 Електричний струм.....	49
4.2.6 Фактор випромінювання	51
4.3 Забезпечення безпеки та запобігання надзвичайній ситуації.....	51
4.3.1 Пожежна безпека	54
4.3.2 Безпека в аварійних ситуаціях.....	55
4.4 Висновок до розділу 4.....	56
5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП – ПРОЕКТУ	57
5.1 Опис ідеї проекту	57
5.2 Технологічний аудит ідеї проекту	58
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	59
5.4 Висновок до розділу 5.....	62
ВИСНОВКИ.....	63
CONCLUSIONS	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	65

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

ЕІЛ-електроіскрове легування

ІР-іскровий розряд

ЛШ-легований шар

ВСТУП

На сьогоднішній день досить стрімко збільшуються вимоги до механічних характеристик деталей машин. Це обумовлено економічними факторами а також глобальним рухом за екологічність підприємств, що спонукає сучасне матеріалознавство створювати більш міцні та витриваліші покриття та матеріали.

Працюючи в складних умовах деталі машин схильні до зношування, що призводить до зменшення строку їх експлуатації. Покращення механічних характеристик деталей машин залишається однією з важливіших задач фізичного матеріалознавства.

Електроіскрове легування (ЕІЛ) є перспективним методом, створення зміцненого шару на поверхні готового виробу, а також відновлення працездатності деталей і інструментів.

В даній магістерській дисертації досліджено вплив легуючих елементів (хрому та вольфраму) та послідовності їх нанесення при ЕІЛ на мікроструктуру, мікротвердість, фазовий склад та зносостійкість поверхневих шарів сталі ХВГ.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

В механізмах такі, як автомобілі найбільш схильні до стирання такі поверхні, як (зубці шестерень наприклад трансмісії, редуктора, тощо, направляючі та повзуни, поверхня циліндрів двигуна внутрішнього згорання тощо), тому дослідження даної роботи спрямовані на створення більш стійкої поверхні деталі, які бути більш стійкими до впливу високих температур, тертя, корозії, аніж вся деталь.

Технологічний прогрес невпинно працює над розробками пов'язаними з створенням екологічною та ефективною технологією для зміцнення поверхонь тертя. Існує безліч способів поверхневого зміцнення деталей, підвищення їх корозійної стійкості та зменшення тертя спряжених поверхонь тертя. Одним із перспективних способів легування поверхні деталі є ЕІЛ. Метод відрізняється економічністю використання матеріалів (анодів), а також забезпечує тривалий термін служби деталей механізмів, що досягається фізико-хімічними перетвореннями поверхневого зміцненого шару деталі. Саме ЕІЛ забезпечує підвищити твердість, жорсткість, корозійну стійкість поверхонь деталей та знизити коефіцієнт тертя, а також реставрувати деталь та відновити розміри зношеної деталі, модифікувавши поверхневий шар.

1.1 ЕІЛ – ефективний метод обробки поверхні

Метод електроіскрового легування був розроблений подружжям Лазаренків в 1950 роках[1].

Даний метод (ЕІЛ) розроблений на явищі електричної ерозії та нанесення матеріалу анода на поверхню катода (деталі) при протіканні імпульсних (іскрових) розрядів в газовому середовищі (повітрі, аргоні, азоті та ін.) [2].

Основні переваги даного методу обробки поверхні є локальна обробка поверхні, що дає змогу проводити обробку поверхні в точній частині матеріалу з радіусом від долей міліметрів, також серед переваг даного методу слід відмітити: малий відсоток термічного впливу на всю деталь під час обробки, високу адгезію

покриття з матрицею матеріалу основи, широкий вибір легуючих матеріалів (анодів) та деталей які можна обробляти (катодів), відсутня будь-якої підготовки деталі перед обробкою. Технологічні переваги методу полягають в малогабаритності обладнання, тим самим полегшує транспортування обладнання.

За допомогою методу ЕІЛ можна досягти наступних цілей:

- зміцнити приповерхневі шари матеріалу основи;
- змінювати хімічний та фазовий склад поверхні катоду в залежності від потреб;
- відновити геометричні розміри зношених деталей машин та зміцнити поверхню [3,4,5].

1.2 Суть методу електроіскрової обробки поверхні

Успішність методу ЕІЛ залежить від раціонального вибору аноду з врахуванням його фізико-хімічних властивостей, ерозійної стійкості, та режиму обробки, що суттєво впливає на характеристики легованого шару.

Метод електроіскрового легування дозволяє, на обробленій поверхні матеріалу, значно підвищити твердість, корозійну стійкість, жаростійкість та зносостійкість деталей машин і механізмів, за рахунок утворення необхідних хімічних сполук та шарів з необхідною шорсткістю [6].

Суть методики ЕІЛ полягає у дії імпульсних електричних розрядів на електропровідні матеріали катоду та аноду. Утворений електричний розряд формує на поверхня катоду модифіковані шари, що виникають як результат дії імпульсів та теплових навантажень в області розряду. Під впливом термічних навантажень на поверхні аноду відбувається деякі некеровані процеси, а саме: термомеханічні, дифузні, мікрометалургійні та інші, при дії яких здійснюється змішування матеріалу аноду і катоду, що сприяє створення високої зчеплення легованого шару з основою. Формування легової поверхні визначається структурою, складом, властивостями матеріалів анодів і технічними параметрами процесу електроіскрового легування [7].

На рис. 1.1 показана загальна схема електроіскрового легування.

Процес відбувається при зближенні аноду та катоду на відстань рівній пробою електроіскрового розряду.

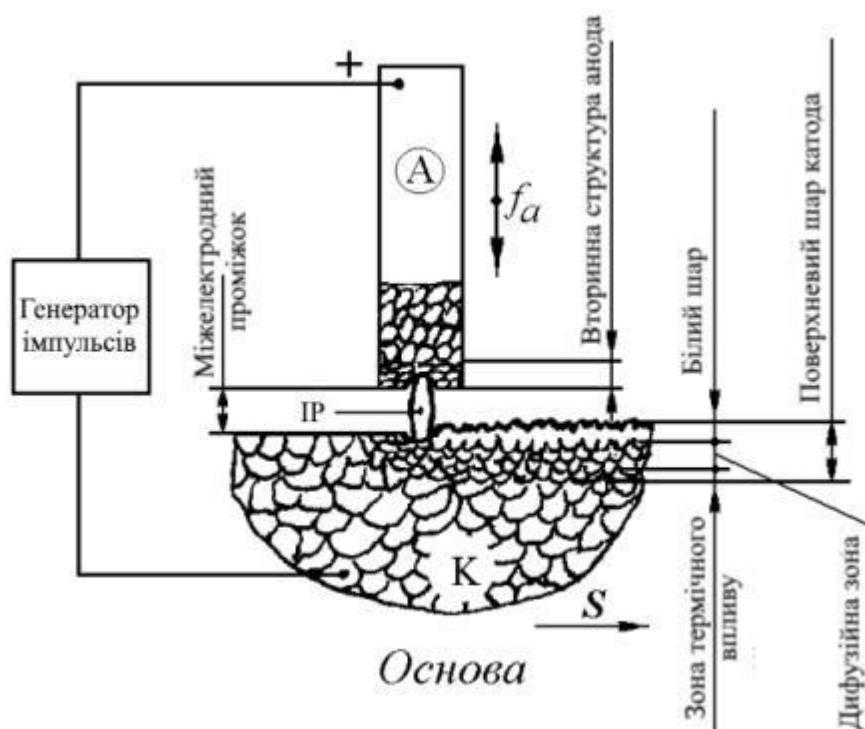


Рисунок 1.1 – Загальна схема процесу ЕІЛ [8]

При зближенні електродів, аноду (рис.1.1, А) та катоду (рис.1.1, К), напруження електричного поля збільшується і при деякій відстані вже стає достатнім для виникнення іскрового електричного розряду (ІР).

1.3 Моделі процесу ЕІЛ

Змінення відстані між анодом та катодом в бік зменшення призводить до зростання напруженості електричного поля між ними. Поверхневим шаром, пучком сфокусованого потоку електронів, передається енергія. Передана енергія призначена для локального нагріву матеріалу анода, на часткове випаровування та плавлення. Розплавлений метал «відпадає» від аноду та падає на катод. Частинки розплаву перебуваючи в полі високої електричної напруженості продовжує нагріватися, досягнувши певної, критичної, температури частинка вибухає. На

цьому дія електричного поля доходить кінця, на катод потрапляють частинки аноду. Досягнувши поверхні катоду частинки аноду зварюються в одне ціле з ним та частково дифундують в його поверхню.

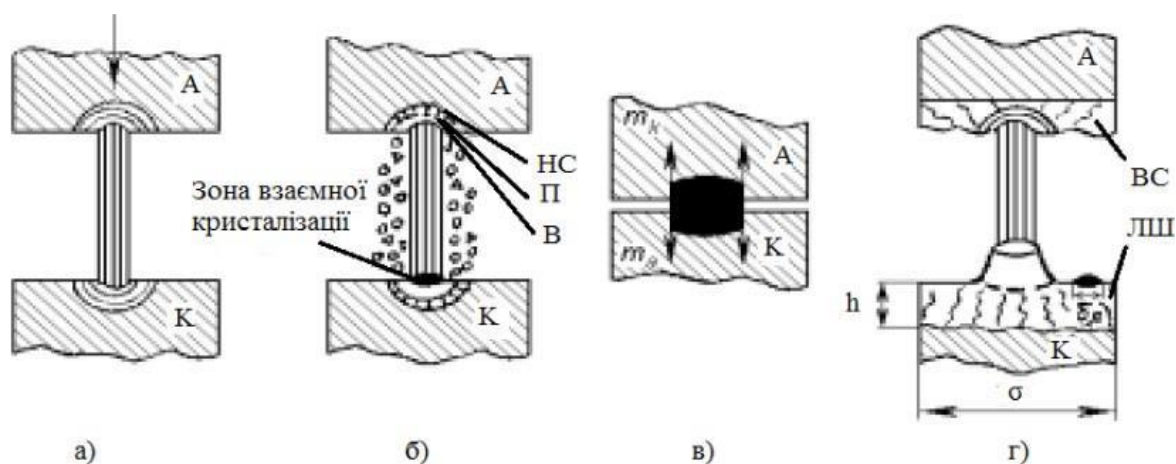
Після вище сказаного відбувається удар анода об поверхню катода, що містить частинки розплаву, завдяки удару відбувається перемішування та гомогенізація легованого шару. Через малі об'єми вважається, що відбувається гартування.

Описана модель відповідає моделі електроіскрового легування при високих напругах. Для менших напруг (100 В – 200 В) пробій відбувається майже при контакті анода з поверхнею катода. При ЕІЛ завжди можливе зворотне масоперенесення, в такому випадку з поверхні катоду виринається частина матеріалу та переноситься на анод, на поверхні зразка (катода) створюється кратер.

Запропонована Лазаренками методика ЕІЛ була однією з перших, тому є неточності в методі, а також метод потребує доповнень [9,10].

Одним з великих спрощень, що припускала модель Лазаренків було те, що не враховувались поверхневі явища та процеси, що відбуваються на електродах (анод та катод). У загальнена модель процесу ЕІЛ А.Д. Верхотурова [11] враховувала зварювання електродів під час контакту, руйнування електродів в паровій, рідкій та твердій фазах, обмеження товщини шару, перекристалізацію матеріалів на катоді, в зоні дії іскри, перервний (дискретний) характер утворення легованого шару. Струм, що призводить до нагріву аноду та магнітне поле, що сприяє утворенню високого тиску в тунелі розряду і викликають утворення на електродах ерозійних лунок, які є наслідком появи об'ємних ділянок теплових джерел. Ерозійна лунка, за Верхотуровим, поділяється на три зони: випаровування, плавлення та напруженого стану.

Схематичне зображення узагальненої моделі ЕІЛ представлено на рис. 1.2.



- а) – пробій міжелектродного проміжку; б) – утворення ерозійних лунок на електродах (на аноді А та катоді К); в) – момент контакту електродів; г) – утворення легованого шару (ЛШ) на катоді.

Рисунок 1.2 – Схема узагальненої моделі ЕІЛ [12]

Розмір перших двох зон має сформульовану залежність від температур плавлення ($T_{пл}$) та кипіння ($T_{кип}$) й від коефіцієнта теплопровідності (λ). Тож чим більша $T_{пл}$, $T_{кип}$ та λ тим менша зона плавлення та кипіння. Полярне перенесення матеріалу анода на катод дозволяє формувати на поверхні катоду модифіковані шари, що являються результатом взаємодії не тільки електродів між собою, а й середовища з електродами.

І хоча метод Верхотурова не описує зв'язку між мікротвердістю отриманого шару та мікротвердістю аноду, а також не пов'язує цих характеристик з жаростійкістю, але вона відкрила можливість керування характеристиками покриття через підбір фізико-механічних характеристик анодів.

1.4 Формування модифікованих покриттів на сталях з використанням методу ЕІЛ

Для того, щоб поліпшити експлуатаційні характеристики робочої поверхні матеріалу, застосовується спосіб використання армованого або захисного покриття для підвищення міцності, зносостійкості та корозійної стійкості [13].

Метод електроіскрового легування дає змогу отримати покриття на виробах з металу різними матеріалами які проводять струм.

Завдяки електроіскровому легуванню поверхневий шар заготовки зазнає змін у фізичних, хімічних та механічних властивостях, а також в розмірах та рельєфі деталі. У модифікованому шарі заготовки помічається утворення інтерметалідних сполук, карбідів, оксидів, нітридів та мікрокристалічних структур, отже, твердість поверхні збільшується.

Міцність і товщина поверхневого шару, сформованого в ЕІЛ, є важливими характеристиками цього процесу.

Як вказують автори роботи [14]: «Структура та властивості покриття є відображенням умов, в яких відбувалося його формування».

Тому, розглядаючи метод легування електричною іскрою, слід зауважити, що шорсткість нанесеного шару та його товщина пропорційні енергії розряду. Інакше кажучи, чим менша енергія, тим шар покриття тонший з меншою шорсткістю формується на поверхні підкладки.

Таким чином, для того щоб вийшло якісне та досить товсте покриття використовують не один, а декілька ґрунтовно підібраних анодів та середовище легування [15].

У роботі [16] представлено складний вплив насичених середовищ та анодних матеріалів на формування, структуру, фазовий склад, мікротвердість та зносостійкість модифікованого шару.

У статті [17] також зазначають, що хімічна термічна обробка (ХТО) суттєво впливає на поверхневу твердість матеріалів.

Досліджень на тему легування та його впливу на середовище досить мало, що не може дати чіткої картини впливу, але попередні дослідження, спрямовані на зіставлення характеристик легових шарів сформованих в різних двох середовищах дають підстави обговорювати значний вплив атмосфери аргону на товщину, мікротвердість та зносостійкість сформованого шару.

1.5 Електродні матеріали для ЕІЛ

Сталь марки ХВГ широко використовують для виготовлення ріжущого та вимірювального інструменту. Вироби з цієї сталі чудово підходять для використання в побуті, легко натачуються та непримхливі у догляді.

Також сталь ХВГ використовують для виготовлення різьбові калібри, протяжки, довгі мітчики, довгі розгортки і інший вид спеціального інструменту. З неї також виготовляють пружини, підшипники, компресорні елементи і т.д.

Електродні пари підбирались таким чином, щоб у процесі ЕІЛ матеріали анодів, що належать до перехідних металів, могли утворювати з матеріалом основи різні типи твердих розчинів, карбіди, нітриди та інтерметаліди.

Першим анодом для електроіскрового легування з постадійним нанесенням було обрано вольфрам. Вольфрам є одним з найбільш тугоплавких металів, що робить його застосування незамінним в областях, пов'язаних з температурою. Вольфрам – основа твердих та багатьох жаростійких сплавів, входить у склад зносостійких та інструментальних сталей.

Дивлячись на властивості вольфраму та його карбідів доцільним буде його використання при ЕІЛ, для підвищення зносостійкості, твердості та жаростійкості. Ряд досліджень [18] підтверджують дане твердження.

Оскільки нанесення матеріалу вольфрамового аноду відбувається безпосередньо на сталь ХВГ, що містить приблизно 94 % Fe то доцільним буде навести та описати діаграму стану вольфрам-залізо рис. 1.3 [19].

У системі формується три проміжні фази $\lambda(\text{Fe}_2\text{W})$, $\mu(\text{Fe}_7\text{W}_6)$, $\sigma(\text{FeW})$ та тверді розчини (W), ($\alpha\text{-Fe}$), ($\gamma\text{-Fe}$).

Розчинність W в ($\alpha\text{-Fe}$) зі зниженням температури зменшується від 14,3 ат.% при 1548 °C до 4,6 ат.% при 1190 °C. При температурах нижче 1000 °C розчинність W в ($\alpha\text{-Fe}$) встановлена менш точно, бо для встановлення рівноваги необхідно багато часу [20]. W стабілізує ($\alpha\text{-Fe}$), підвищуючи температуру перетворення ($\alpha\text{-Fe}$) \leftrightarrow ($\gamma\text{-Fe}$) и знижуючи температуру перетворення ($\gamma\text{-Fe}$) \leftrightarrow ($\sigma\text{-Fe}$) и призводить до

появи замкнутої області (γ -Fe). Максимальна розчинність W в (γ -Fe) становить 1,46 ат. %.

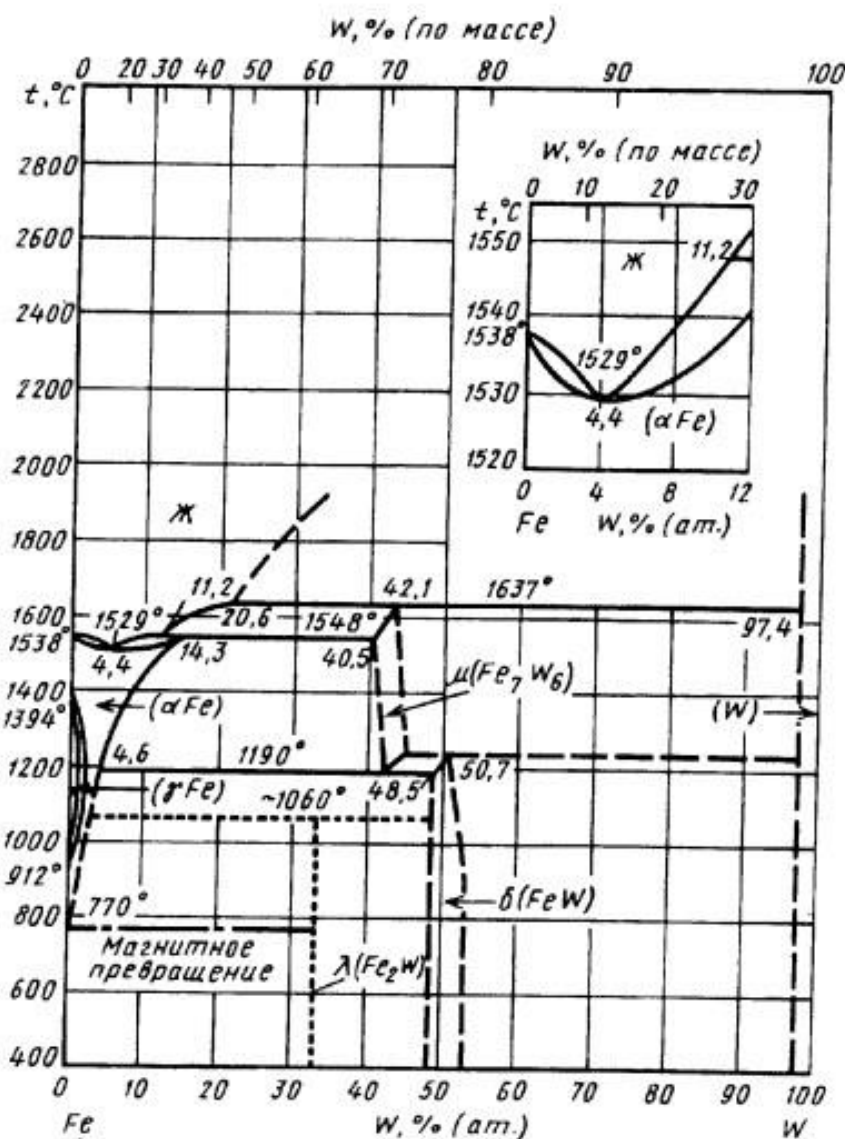


Рисунок 1.3 – Діаграма стану Fe - W

У системі формується три проміжні фази $\lambda(\text{Fe}_2\text{W})$, $\mu(\text{Fe}_7\text{W}_6)$, $\sigma(\text{FeW})$ та тверді розчини (W), (α -Fe), (γ -Fe).

Розчинність W в (α -Fe) зі зниженням температури зменшується від 14,3 ат. % при 1548 °C до 4,6 ат. % при 1190 °C. При температурах нижче 1000 °C розчинність W в (α -Fe) встановлена менш точно, бо для встановлення рівноваги необхідно багато часу [21]. W стабілізує (α -Fe), підвищуючи температуру перетворення (α -Fe)

$\leftrightarrow (\gamma\text{-Fe})$ и знижуючи температуру перетворення $(\gamma\text{-Fe}) \leftrightarrow (\sigma\text{-Fe})$ и призводить до появи замкнутої області $(\gamma\text{-Fe})$. Максимальна розчинність W в $(\gamma\text{-Fe})$ становить 1,46 ат. %.

Сполука Fe_2W (фаза λ) утворюється по перитектоїдній реакції при температурі 1060 °C з $(\alpha\text{-Fe})$ та фази μ .

Другим анодом обрано хром – тугоплавкий, твердий метал (9 за шкалою Мооса) з надзвичайною корозійною стійкістю, що й зумовило популярність цього металу в промисловості [22]. Тому доцільно привести діаграму стану, що відображає взаємодію анодів хрому та вольфраму рис. 1.4 [23].

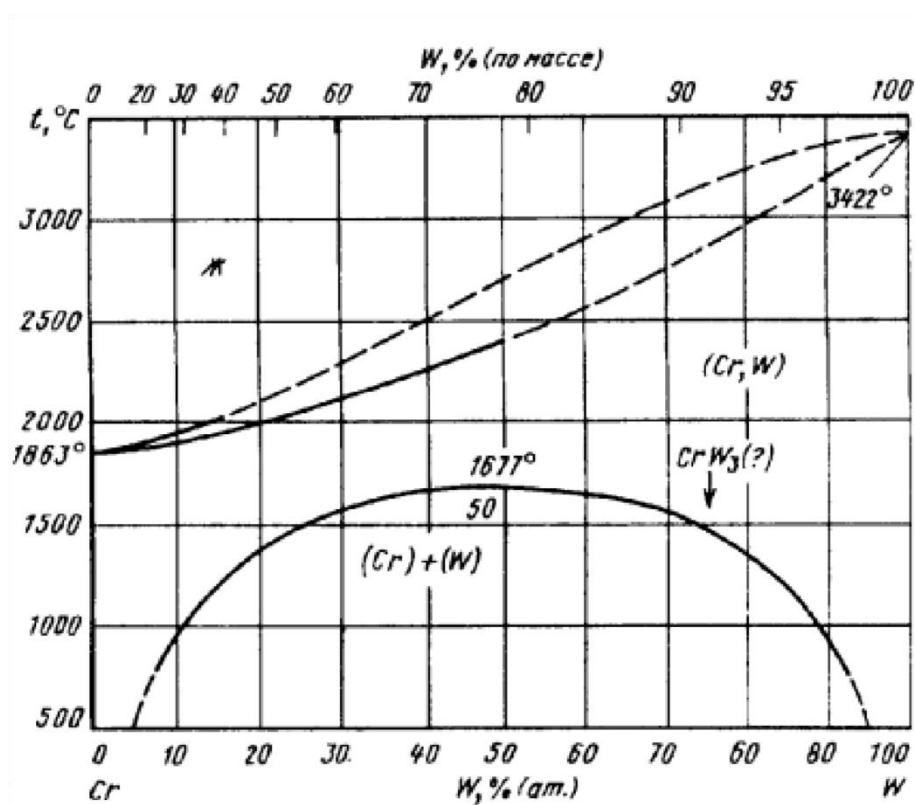


Рисунок 1.4 – Діаграма стану системи Cr – W

Cr утворює з W при кристалізації неперервний ряд твердих розчинів, які за температури нижче 1677 °C і вмісті W 50 ат. % розпадаються на два твердих розчини (Cr) та (W).

вмісті Cr приблизно 21 ат.%. В твердому стані в системі існують наступні фази: проміжна фаза σ (FeCr), неперервна область твердих розчинів α -Fe і Cr (α -Fe, Cr) та обмежена область твердого розчину на основі γ -Fe. Максимальна розчинність Cr в γ -Fe складає 11,9 ат.%. Межа двофазної області між γ -Fe і (α -Fe, Cr) має мінімум при вмісті Cr 7 ат.% та температурі 830 °C.

Фаза σ утворюється з (α -Fe,Cr) при вмісті Cr 48 ат.% – 49 ат.% та температурі нижче 815 °C – 830 °C розпадається при температурі 440 °C – 520 °C по евктикоїдній реакції на твердих розчина.

1.6 Висновки до розділу 1

На основі аналізу літературних даних можна зробити висновок про ефективність використання методу ЕІЛ, що свідчить про актуальність обраного методу обробки поверхні.

Проведений літературний аналіз свідчить про недостатню кількість джерел, що присвячені впливу на структуру, властивості та хімічний склад сталі ХВГ після послідовного нанесення шару вольфраму хрому методом електроіскрового легування (ЕІЛ). Саме тому тема даного дослідження є актуальною.

Твердий розчин хрому в залізі, може виконувати роль відносно м'якої і пластичної матриці в якій будуть формуватися дисперсні частинки карбідів хрому та вольфраму, що відповідає принципу Шарпі [27].

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

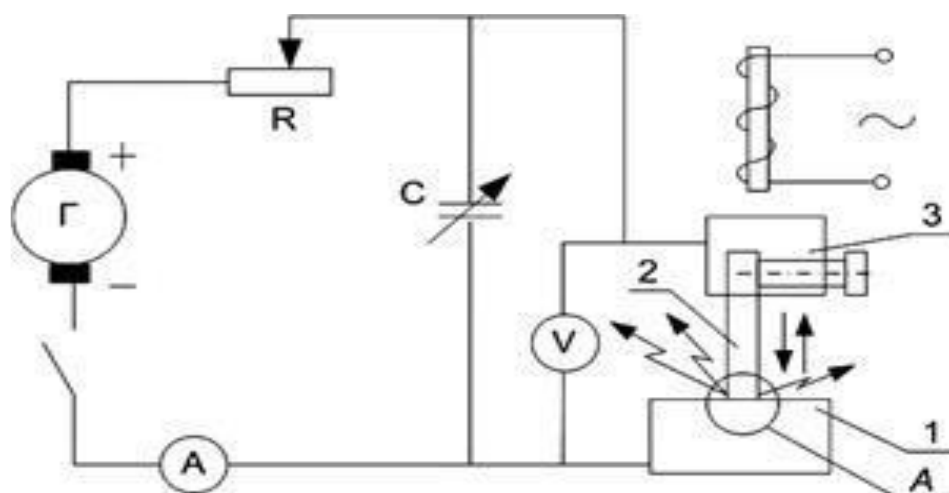
2.1 Матеріали для дослідження

Для дослідження була обрана сталь класу марки ХВГ. Дана сталь містить такі легуючі елементи, як марганець, вольфрам та кремній. Марганець в даній сталі близько (1–2) % забезпечує мінімальну зміну розмірів інструменту при загартуванні. Інтенсивно зменшуючи інтервал температури мартенситного перетворення, сприяє зберіганню в структурі підвищеної кількості залишкового аустеніту (15–20) %, який повністю або частково компенсує збільшення об'єму в результаті утворення мартенситу. Кремній (1–1,5) % в свою чергу підвищує опір відпуску і сприяє створенню окалини, що легко відпадають. Вольфрам (1–5) % підвищує зносостійкість [28].

Сталь марки ХВГ зарекомендувала себе як сталь з малою деформацією при гартуванні і застосовується для стрижневих інструментів такі як свердла або для іншого ріжучого інструменту. Структура мартенситу і надлишкових карбідів (легований цементит) забезпечує їй твердість (HRC 62–69) і високу зносостійкість. Проте через малу теплостійкість низьколеговані сталі мають майже однакові з вуглецевими сталями експлуатаційні властивості. На відміну від вуглецевих сталей, вони менше схильні до перегріву і дозволяють виробляти інструмент великих розмірів і більш складної форми, однак застосовуються для інструментів, що працюють при невеликих оборотах різання в яких не виникає нагрівання понад 200 °С - 260 °С.

2.2 Електроіскрове легування

Для отримання модифікованих покриттів методом ЕІЛ на матеріалі основи була використана установка «ЭЛИТРОН-26А». Схема даної установки наведена на рис. 2.1.



1 – деталь (катод); 2 – електрод (анод); 3 – анодний тримач

Рисунок 2.1 – Принципова схема електроіскрової установки [29]

В основі принципу дії приладу лежить генерування електроіскрових розрядів між двома електродами, катодом – оброблюваною деталлю, та анодом – матеріал, яким оброблюється катод.

В даній роботі процес ЕІЛ проводився тільки на повітрі. Обробка була проведена в одному режимі, при силі струму $I = 2 \text{ A}$ та напрузі $U = 60 \text{ В} - 70 \text{ В}$. Кожна з поверхонь оброблювалась 3 хвилини, кожним анодом.

2.3 Методи дослідження зразків після ЕІЛ

Для одержання експериментальних даних в ході дослідження було використано п'ять методів, які дозволили в повній мірі проаналізувати результати дослідження та зробити висновки для можливої сфери використання зазначених схем обробки.

Робота була побудована на використанні такого комплексу методів:

- мікроструктурний аналіз;
- мікродюрOMETричний аналіз;
- гравіметричний аналіз;
- рентгенофазовий аналіз;
- дослідження на зносостійкість.

2.3.1 Мікроструктурний аналіз

Для дослідження мікроструктурного аналізу з використанням оптичної мікроскопії нам потрібно було виготовити металографічних поперечних шліфів. Для підготовки поперечних шліфів треба закріпити оброблюючий зразок, для цього використовувалась струбцина з мідною пластиною, яка прилягала до утвореного шару. Для шліфування зразка використовували абразивний папір різної шорсткості, з поступовим зменшенням абразивних часток. Для створення дзеркальної поверхні використовували полірувальної пасту ДОИ (оксид хрому III) з подальшим переходом на шліфування водою.

Отримана поверхня шліфу протравлювалась, з використанням використовувався 20 % розчин азотної кислоти, в етиловому спирті.

Фотографування шліфів мікроструктури, для наступного металографічного аналізу, здійснювалось на оптичному мікроскопі МЕТАМ РВ-21 (рис. 2.2), при збільшенні від 100 разів до 400 разів.



Рисунок 2.2 – Металографічний мікроскоп МЕТАМ з верхнім розташуванням предметного столику [30]

Фото поверхні зроблено за допомогою фото-насадки та програми, яка передає зображення на комп'ютер.

2.3.2 МікродюрOMETричний аналіз

Мікротвердість модифікованої поверхні вимірювалась на протравлених зразках з використанням приладу ПМТ-3М (рис.2.3). Зазначений прилад заснований на методі визначення мікротвердості за Віккерсом.



Рисунок 2.3 – Мікротвердомір ПМТ-3М

Визначення мікротвердості проводилося шляхом вдавнення стандартної алмазної пірамідки з двограним кутом при вершині 136° при навантаженні 20 г та 50 г протягом 7 секунд – 10 секунд.

2.3.3 Гравіметричний аналіз

Гравіметричний метод полягає у вимірюванні маси електродів перед початком електроіскрової обробки та під час обробки, на кожній стадії процесу, з визначеним кроком. В даній роботі зважування проводилось кожну хвилину.

Контроль маси електродів проводили з використанням лабораторних вагів «AXIS AD50» (точність вимірювання 0,0005 г).

Для попередньої оцінки процесу обробки та формування модифікованого покриття визначається за ерозією аноду Δm^a та приростом маси катоду Δm^k , що виявляється в зміні маси обох.

Зміна маси електродів визначається як:

$$\Delta m^3 = m(t_n) - m(t_0), \quad (2.1)$$

де Δm^3 – зміна маси електроду (аноду або катоду);

t_0 – час початку обробки; t_n – час n -го вимірювання маси зразка.

Приріст ваги катоду розраховується за формулою:

$$\Delta m_k^n(t) = m_k(t_n) - m_k(t_{n-1}), \quad (2.2)$$

де Δm_k^n – приріст маси катоду;

t_n – час n -го вимірювання маси зразка;

t_{n-1} – час попереднього вимірювання.

Для виміру ерозії аноду (Δm_a^e) використовується аналогічна формула, як і (2.2), тільки обиралися дані, що стосуються аноду.

Таким чином коефіцієнт масоперенесення записується за формулою:

$$K = \frac{\Delta m_k^n}{\Delta m_a^e}, \quad (2.3)$$

де K – коефіцієнт масоперенесення (%).

2.3.4 Рентгенофазовий аналіз

Для отримання даних рентгенофазового аналізу використовувався дифрактометр Ultima IV (Rigaku).

Завдання, які вирішуються дифрактометром Rigaku Ultima IV:

- фазовий аналіз багатьох матеріалів;
- якісний та багато кількісний аналіз;

- визначення кристалічної структури;
- визначення розмірів кристалітів;
- переважні орієнтації;
- досконалість кристалічної структури;
- ступінь кристалізації;
- залишкові напруги;
- функція радіального розподілу;
- орієнтація та структура тонких плівок;
- розподіл розмірів наночастинок і пор;
- багатошарові структури (товщина, щільність, шорсткість);
- одночасний рентгеноструктурний та калориметричний аналіз.

Ultima IV – єдиний на ринку дифрактометр з повністю автоматичним юстуванням всієї системи. Зйомки проводились на мідному монохроматизованому випроміненні при напрузі 30 кВ та струмі 30 мА.

Даний пристрій дає можливість здійснення сканування в двох взаємно перпендикулярних площинах без необхідності перебудови системи являється великим революційним проривом у дифрактометрії надтонких плівок. Використання in-plane геометрії дає змогу проводити аналіз плівок товщиною до 1 нм. В цій геометрії можна визначати параметри решітки в площині зразка, а також визначати орієнтаційні відношення в системі плівка/підложка, що неможливо при використанні звичайної геометрії.

Вбудовані бази даних дозволяють автоматично аналізувати дифрактограми отримані в електронному вигляді.

2.3.5 Випробування на зносостійкість

Випробування на зносостійкість проводилися на установці тертя, сконструйованій за принципом зворотно-поступального руху за схемою «площина по площині» в умовах тертя-ковзання без мастила.

Принцип дії установки є таким: обертання від електродвигуна постійного струму передається на шатун. Рухома платформа здійснює зворотно-поступальний рух по напрямним за допомогою шатуна, прикріпленого до обертальної частини редуктора. На рухомій платформі розміщено досліджуваний зразок, який контактує з контртілом (сталь Р6М5), закріпленим на важелі, під час дії навантаження (тягар) 4 кг.

Ваговим методом проводилось оцінювання величини зношування. Зразок зважувався через пройдені 96 метрів випробування (пройдений шлях за 4 години – 1056 м). Для зважування використовувались лабораторні електронні ваги AXIS AD50 з точністю 0,0005 г.

За втратою маси обчислювався показник інтенсивності зношування I , кг/м²:

$$I = \frac{\sum \Delta m}{S} \quad (2.4)$$

де Δm – втрата маси, кг;

S – площа поверхні тертя зразка, м².

За розрахованими значеннями I побудовано кінетичні криві інтенсивності зношування покриття в залежності від пройденого часу.

2.4 Висновки до розділу 2

В даному розліді розглянуто п'ять методів дослідження зразків після електроіскрового легування, а саме (мікроструктурний аналіз, мікродюрOMETричний аналіз, гравіметричний аналіз, рентгенофазовий аналіз та дослідження на зносостійкість).

3 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Електроіскрове легування сталі ХВГ хромом

Вивчення кінетики масоперенесення в процесі проведення ЕІЛ відбувалося гравіметричним методом. Результати зміни маси катоду сталі ХВГ та анодом хрому після кожної хвилини легування дали змогу побудувати криві приросту маси катоду та ерозії анодів. На рисунку 3.1 наведено графіки зміни маси аноду та катоду залежно від часу обробки.

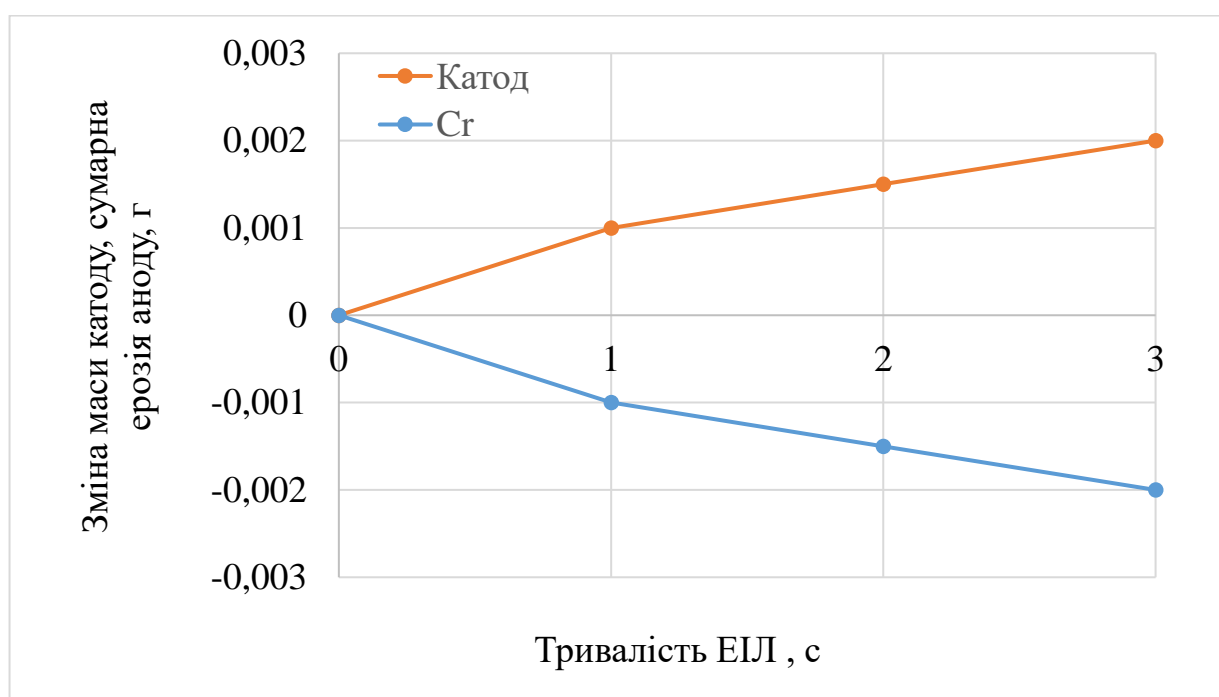


Рисунок 3.1 – Графіки залежності сумарного приросту маси катоду та ерозії аноду від тривалості обробки в процесі ЕІЛ сталі ХВГ хромом

Результат мікроструктурного аналізу сталі ХВГ після електроіскрового легування на повітрі анодом хрому показав, що легований шар після ЕІЛ зразка за зазначеною схемою має товщину 20 мкм (рис. 3.2).

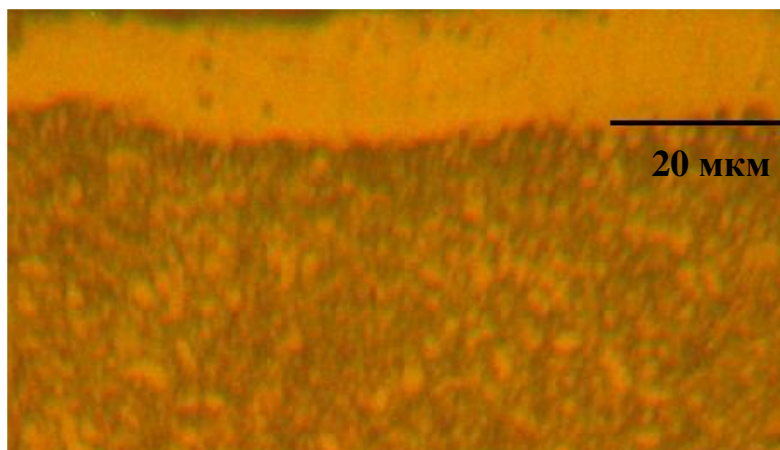


Рисунок 3.2 – Мікроструктура поверхневого шару сталі ХВГ після легуванням Cr

МікродюрOMETричний аналіз електроіскрового легування Cr дав змогу встановити значне підвищення значення мікротвердості легованого шару до 7,4 ГПа (рис. 3.3).

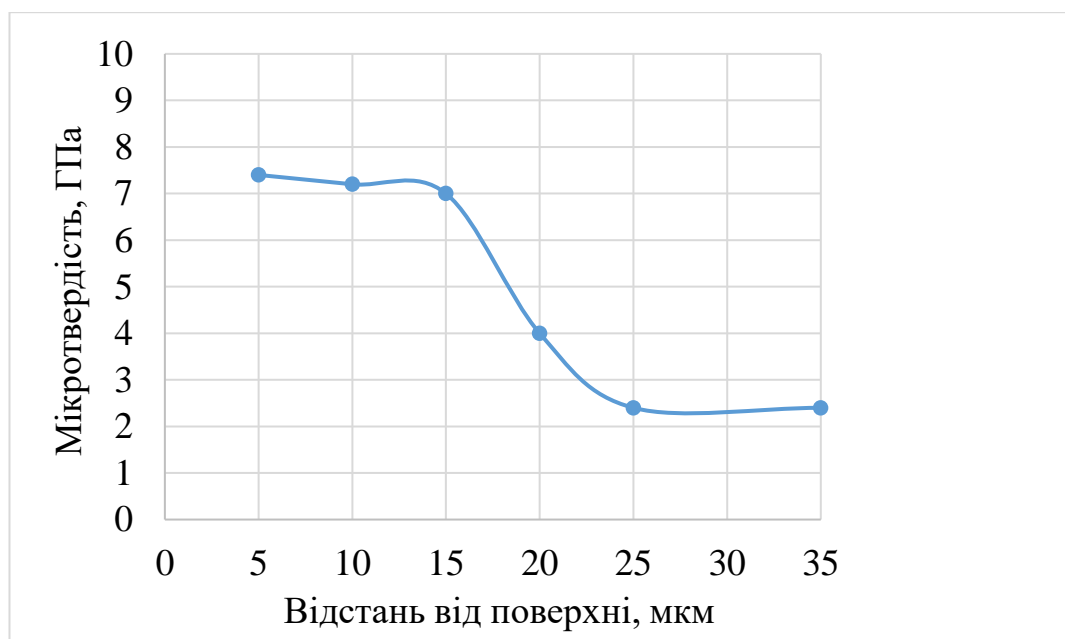


Рисунок 3.3 – Мікротвердість у поверхневій зоні сталі ХВГ хромом

Після обробки сталі ХВГ ЕІЛ хромом фіксуються наступні дані (табл. 3.1.).

Таблиця 3.1 – Фазовий склад шару після ЕІЛ хромом

№	Кут дифракції 2θ , °	Міжплощина відстань d , Å	Назва фази
1	21.6742	4.09686	Cr_7C_3 (0,1,1)
2	37.0136	2.42672	Cr_7C_3 (1,4,1)
3	42.835(12)	2.1094(6)	$\gamma\text{-Fe}$ (1,1,1), Cr_7C_3 (1,0,2)
4	44.30(3)	2.0431(12)	$\alpha\text{-Fe}$ (1,1,0), Cr_7C_3 (1,5,1)
5	62.03(8)	1.4950(17)	Cr_7C_3 (4,4,0)
6	64.37(11)	1.446(2)	$\gamma\text{-Fe}$ (2,0,0), Cr_7C_3 (0,8,1)
7	71.2217	1.32288	Cr_7C_3 (4,2,2)
8	74.3(2)	1.275(3)	Cr_7C_3 (2,7,2)
9	78.4163	1.21853	Cr_7C_3 (2,9,1)
10	81.54(10)	1.1796(12)	$\gamma\text{-Fe}$ (2,1,1), Cr_7C_3 (2,8,2)
11	97.8281	1.02197	$\alpha\text{-Fe}$ (2,2,0), Cr_7C_3 (4,5,3)

За результатами фазового рентгенівського аналізу зразка на сталі ХВГ хромом отримана дифрактограма (рис. 3.4).

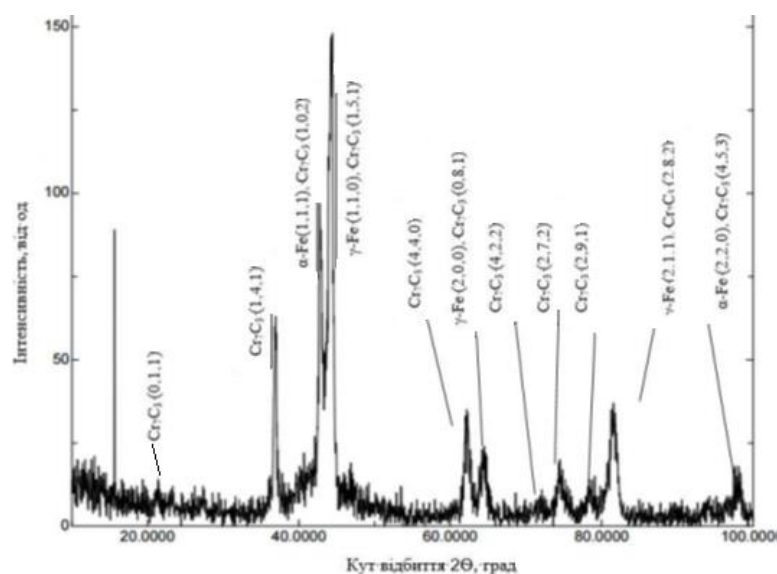


Рисунок 3.4. Дифрактограма легovanого шару на сталі ХВГ після ЕІЛ Cr

3.2 Електроіскрове легування вольфрамом сталі ХВГ

Графік залежності приросту маси катоду та ерозії аноду під час електроіскрової обробки зразка анодами вольфраму показано на рис. 3.5.

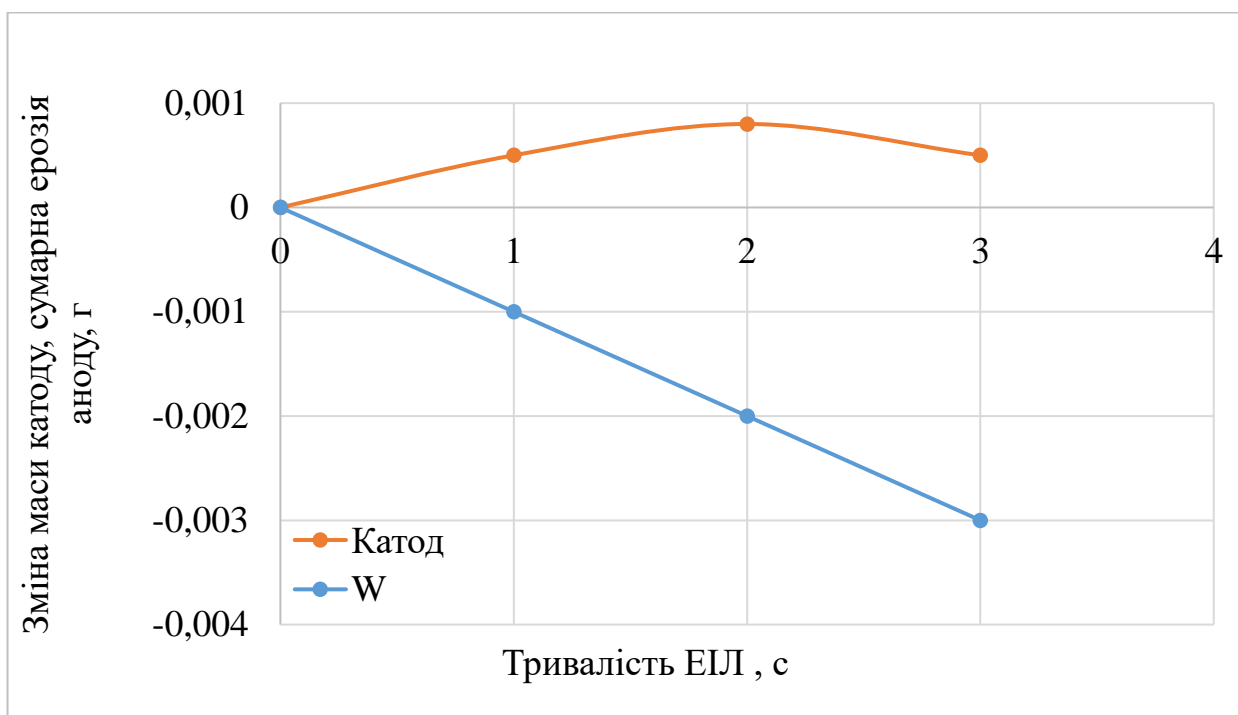


Рисунок 3.5 – Графіки залежності сумарного приросту маси катоду та ерозії аноду від тривалості обробки в процесі ЕІЛ сталі ХВГ хромом.

Мікроструктурний аналіз сталі ХВГ після електроіскрового легування на повітрі вольфрамом виявив легований шар товщиною до 15 мкм (рис. 3.6).

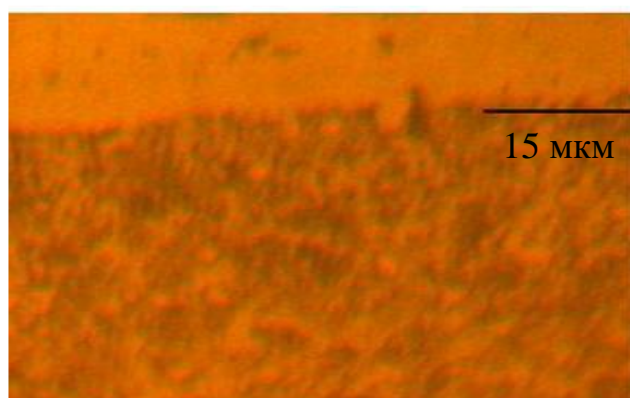


Рисунок 3.6 – Мікроструктура поверхневого шару сталі ХВГ після ЕІЛ W

За даними мікродюрметричного аналізу (рис. 3.7) виявлено зростання мікротвердості поверхні легованого шару при ЕІЛ за схемою вольфраму до 9,5 ГПа, що більше, ніж при ЕІЛ в хромом де мікродюрметричний аналіз показав 7,4 ГПа.

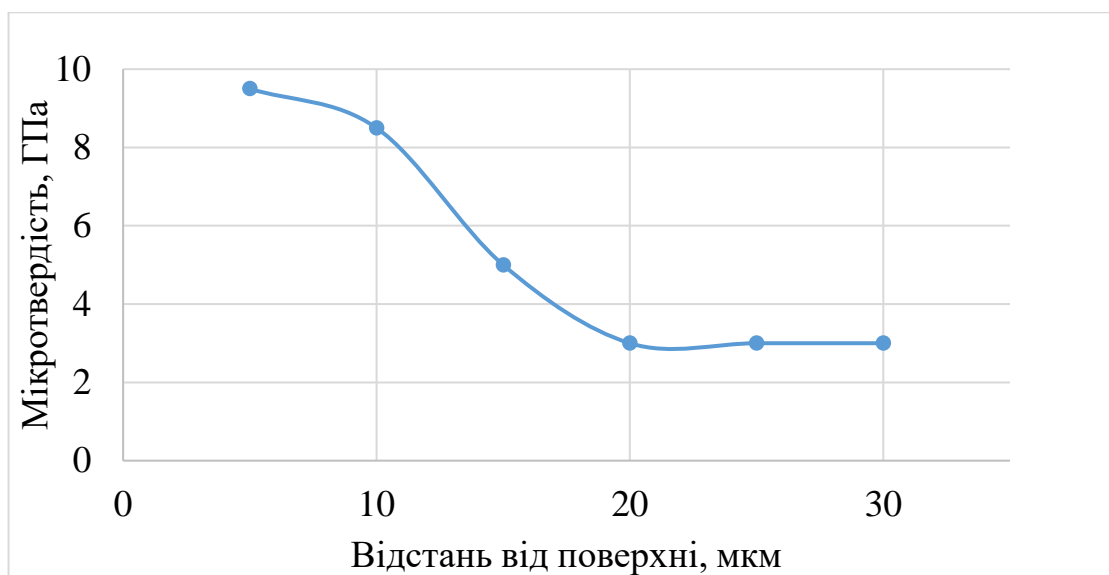


Рисунок 3.7 –Мікротвердість у поверхневій зоні сталі ХВГ W

Результати рентгенофазового аналізу зразка сталі ХВГ після електроіскрової обробки анодом вольфраму занесені до таблиці 3.2.

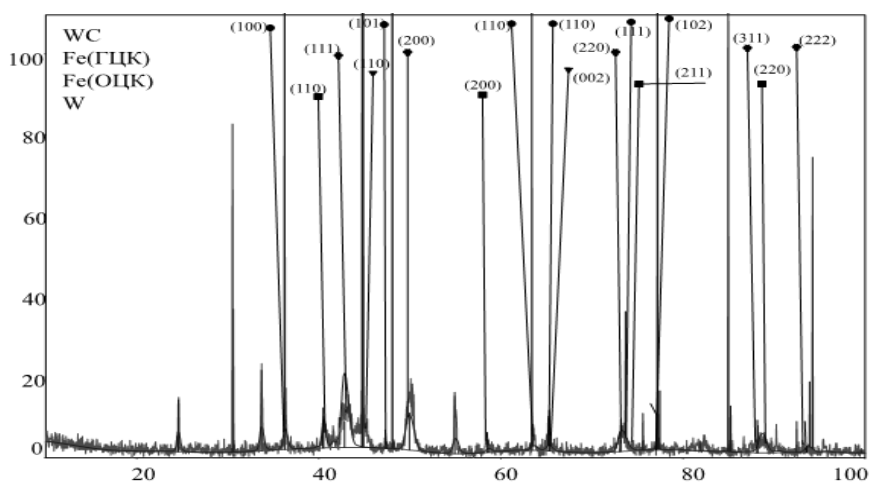


Рисунок 3.8-Дифрактограма легованого шару на сталі ХВГ після ЕІЛ W

Таблиця 3.2 – Фазовий склад шару після ЕІЛ W

№	Кут дифракції, $2\theta, ^\circ$	Міжплощинна відстань, $d, \text{\AA}$	Фаза(hkl)
1	36,24	2,4765	WC(100)
2	40,50	2,225	W(110)
3	42,83	2,110	γ -Fe(111)
4	44,78	2,022	α -Fe(110)
5	47,34	1,9185	WC(101)
6	49,95	1,824	γ -Fe(200)
7	58,59	1,574	W(200)
8	63,43	1,465	WC(110)
9	65,31	1,427	WC(110), α -Fe(002)
10	73,17	1,292	γ -Fe(220),W(211),WC(111)
11	77,03	1,236	WC(102)
12	88,2	1,107	γ -Fe(311),W(220)
13	93,59	1,056	γ -Fe(222)

3.3 Електроіскрове легування сталі ХВГ у послідовності вольфрам-хром

Гравіметричний аналіз у вигляді графіку залежності приросту маси катоду та ерозії аноду під час ЕІЛ обробки зразка анодами вольфраму та хрому показано на рис. 3.9.

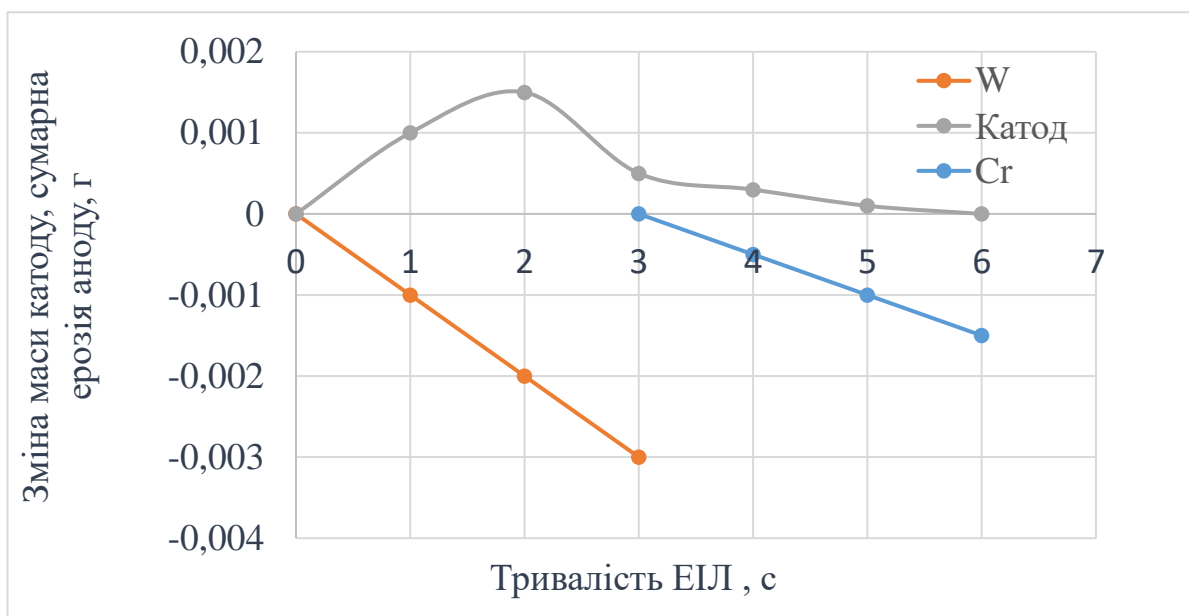


Рисунок 3.9 – Кінетика масоперенесення в процесі пошарового ЕІЛ анодами W – Cr

Також проведено мікроструктурний аналіз сталі ХВГ після ЕІЛ на повітрі при послідовному нанесенні вольфраму та хрому (W - Cr), що показав легований шар товщиною 20 мкм (рис. 3.10).

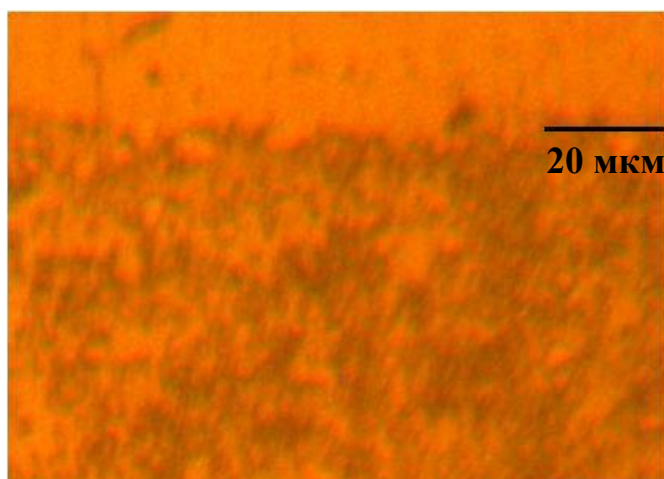


Рисунок 3.10– Мікроструктурний аналіз сталі ХВГ після ЕІЛ за схемою W-Cr

За даними мікродюрOMETричного аналізу який показано на (рис. 3.11) виявлено зростання мікротвердості поверхні легованого шару при ЕІЛ за схемою W - Cr 12 ГПа.

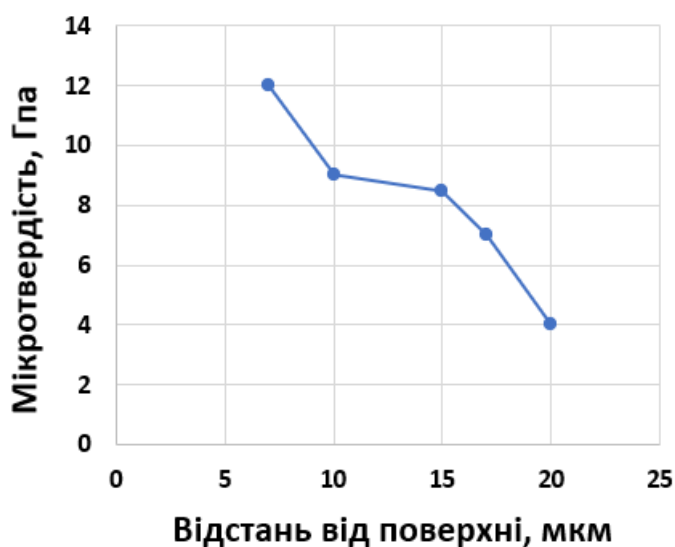


Рисунок 3.11 – Мікротвердість поверхні досліджуваного зразка сталі ХВГ після ЕІЛ анодами W – Cr

За результатами рентгенофазового аналізу після обробки сталі ХВГ анодами у послідовності W - Cr в легованому шарі було виявлено такі фази: альфа та гамма залізо, та карбід хрому. Розрахунок дифрактограми та сама дифрактограма наведені на рис. 3.12 та в табл. 3.3.

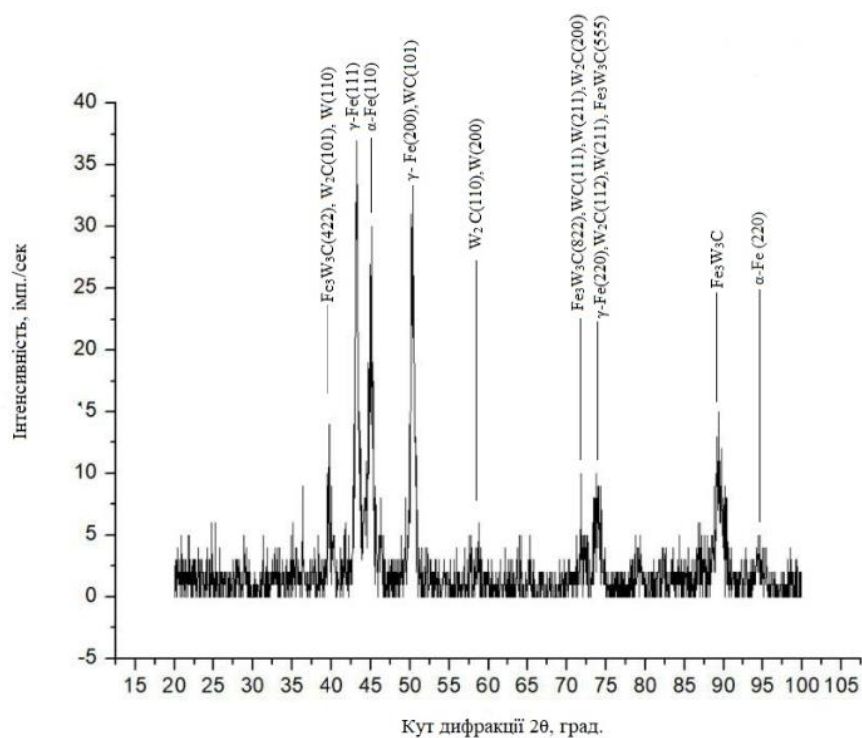


Рисунок 3.12-Дифрактограма легованого шару на сталі ХВГ після ЕІЛ W-Cr

Таблиця 3.3 – Фазовий склад шару після ЕІЛ W-Cr

№ лінії	Кут дифракції, 2θ , °	Міжплощинна відстань d , Å	Фази (hkl)
1	39,3103	2,2906	$\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}(422)$, $\text{W}_2\text{C}(101)$, $\text{W}(110)$
2	43,15	2,095	$\gamma\text{-Fe}(111)$
3	45,15	2,007	$\alpha\text{-Fe}(110)$
4	50,21	1,8156	$\gamma\text{-Fe}(200)$, $\text{WC}(101)$
5	57,6552	1,59751	$\text{W}_2\text{C}(110)$, $\text{W}(200)$
6	71,7241	1,31484	$\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}(822)$, $\text{WC}(111)$, $\text{W}(211)$, $\text{W}_2\text{C}(200)$
7	73,77	1,283	$\gamma\text{-Fe}(220)$, $\text{W}_2\text{C}(112)$, $\text{W}(211)$, $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}(555)$
8	89,14	1,0976	$\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$
9	94,069	1,05264	$\alpha\text{-Fe}(220)$

3.4 Електроіскрове легування сталі ХВГ у послідовності хром-вольфрам

Проведено гравіметричний аналіз, який показаний на графіку (рис. 3.13).

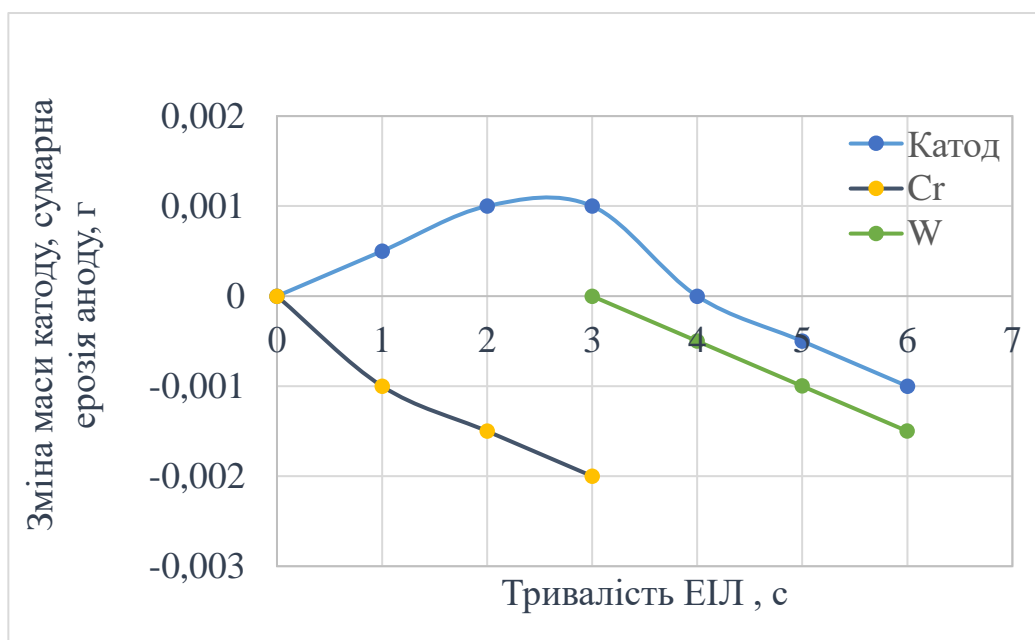


Рисунок 3.13 – Кінетика масопереносу в процесі ЕІЛ хромом та вольфрамом

Мікроструктурний аналіз показав, що легований шар має товщину 35 мкм, що показано на рис (3.14).

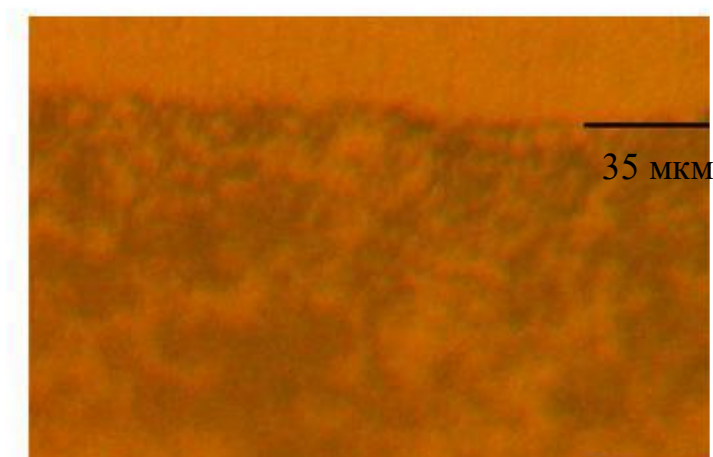


Рисунок 3.14 – Мікроструктура поверхневого шару сталі ХВГ після ЕІЛ за схемою Cr – W

МікродюрOMETричний аналіз зразків після ЕІЛ в послідовності Cr-W, який представлено на (рис. 3.15), показав, що значення мікротвердості легованого шару 10 ГПа, що менше на 2 мкм ніж у ЕІЛ в послідовності W-Cr.

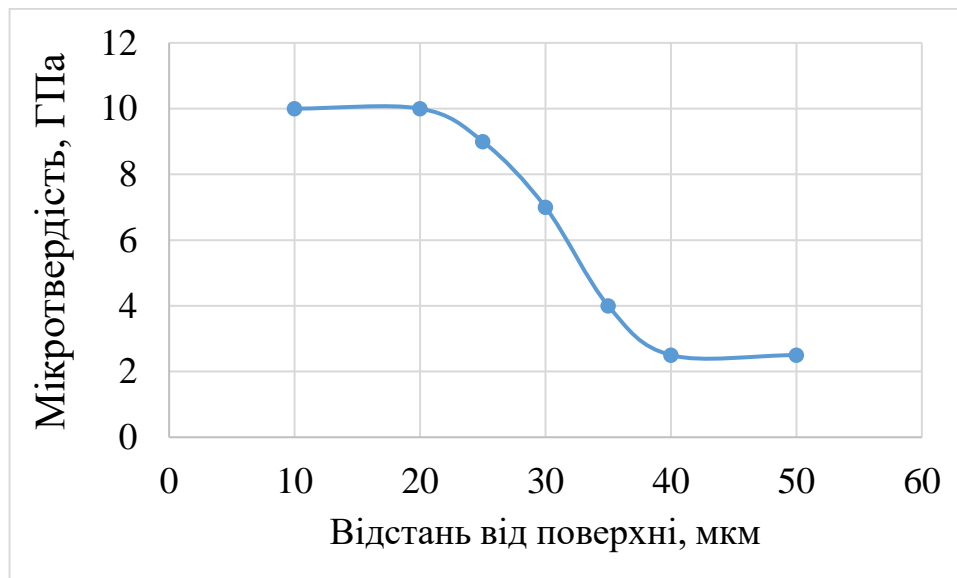


Рисунок 3.15 – Мікротвердість поверхні сталі ХВГ після ЕІЛ за схемою Cr - W

Результати рентгенофазового аналізу зразка сталі ХВГ після тристадійної електроіскрової обробки анодами хрому та вольфраму показані в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати рентгенофазового аналізу зразка сталі ХВГ

№	Кут дифракції 2θ , °	Міжплощинна відстань d , Å	Фаза	HKL
1	40	2,2286	W ₂ C	121
2	42	2,1442	Cr	111
3	44	2,0483	CrC	200
4	48	1,9017	WC	101
5	50	1,8246	Cr	200
6	64	1,4444	CrC	220

Продовження таблиці 3.4

№	Кут дифракції 2θ , °	Міжплщинна відстань d , Å	Фаза	HKL
7	72	1,3115	W ₂ C	302
8	73	1,2890	WC	111
9	81	1,1835	Cr	211
10	87	1,1176	WC	201
11	98	1,0197	CrC	400

Дифрактограма наведена на рис. 3.16.

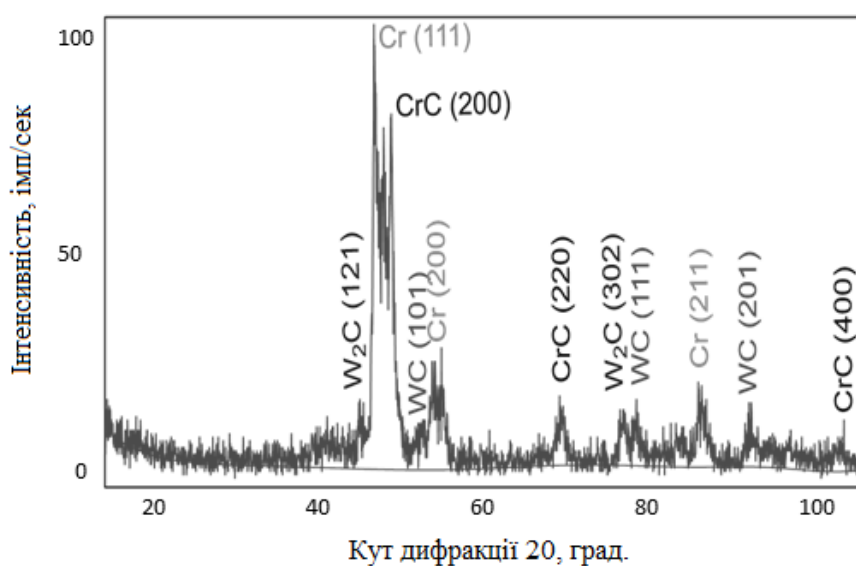


Рисунок 3.16 – Дифрактограма легovanого шару на сталі ХВГ після ЕІЛ Cr-W

3.5 Дослідження зносостійкості поверхонь сталі ХВГ після ЕІЛ

Для порівняння зносостійкості легovаних шарів сталі ХВГ, були випробувані зразки після ЕІЛ за схемами Cr - W та W - Cr.

Зносостійкість утвореного легovanого шару після ЕІЛ за схемою Cr - W у 6,5 разів, вища ніж в порівнянні з необробленим зразком (рис. 3.17).

Як видно з графіку (рис. 3.17) інтенсивність зношування матеріалу без обробки значно переважає інтенсивність зношування після ЕІЛ за схемою Cr - W, полічка зношування говорить про утворення зносостійкого покриття.

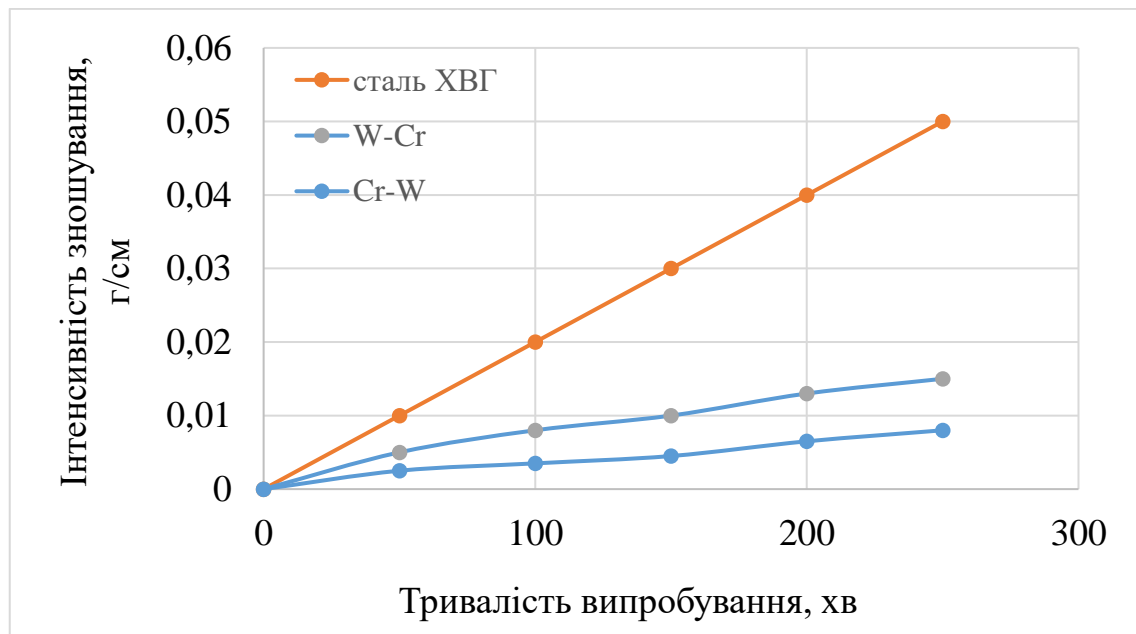


Рисунок 3.17 – Інтенсивність зношування поверхні шару сталі ХВГ після ЕІЛ за схемами Cr - W та W - Cr

Підвищена зносостійкість легованого шару при ЕІЛ в послідовності Cr-W може бути зумовлена формуванням структури легованого шару, яка відповідає «принципу Шарпі», а саме відносно м'яка пластична основа і включення дисперсної фази з високою твердістю [31].

3.6 Висновки до розділу 3

Аналіз експериментальних даних отриманих при ЕІЛ W та Cr сталі ХВГ дозволив зробити наступні висновки.

1. Встановлена можливість підвищення мікротвердості поверхневого шару сталі ХВГ при електроіскровому легуванні Cr та W, а також при постадійному легуванні цими елементами у різних послідовностях.

2. Встановлено, що ЕІЛ Cr сталі ХВГ призводить до утворення зміцненого шару з мікротвердістю 7,4 ГПа та товщиною 20 мкм, а ЕІЛ W до 9,5 ГПа і товщиною 15 мкм.

3. Показано, що при послідовному ЕІЛ сталі ХВГ зміна послідовності анодів W та Cr, впливає на фазовий склад легованого шару, мікротвердість та зносостійкість.

4. Виявлено, що найвищу мікротвердість 12 ГПа легований шар має при ЕІЛ сталі в послідовності W - Cr. Мікротвердість легованого шару при ЕІЛ сталі в послідовності Cr - W складає 10 ГПа. Більш високі значення мікротвердості в легованому шарі, який формувся при першому легуванні вольфрамом, може бути зумовлене утворенням пересиченого розчину вольфраму в залізі, формуванні дисперсних карбідів хрому та вольфраму.

5. Встановлено, що найбільшу зносостійкість має легований шар при послідовності легування Cr – W (в 6,5 разів в порівнянні з необробленим зразком), меншу зносостійкість має легований шар нанесений в послідовності W - Cr (в 3,7 разів). Підвищена зносостійкість легованого шару при ЕІЛ в послідовності Cr-W може бути зумовлена формуванням структури легованого шару, яка відповідає «принципу Шарпі», а саме відносно м'яка пластична основа і включення дисперсної фази з високою твердістю. При легуванні хромом сталі ХВГ утворюється твердий розчин α -(Fe-Cr) і при подальшому легуванні W формуються дисперсні карбіди Cr і W з високою твердістю.

6. Виявлено, що найбільшу товщину (до 35 мкм) має легований шар утворений за схемою Cr - W, що може бути зумовлене необмеженою розчинністю Cr в Fe. При послідовності обробки W-Cr товщина легованого шару – 20 мкм.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Мета розділу охорони праці полягає в аналізі шкідливих та небезпечних факторів, що можуть призводити до ураження організму та умов, які спричиняють травмування під час проведення ЕІЛ сталі ХВГ анодами Cr та W, а також розробка заходів спрямованих на усунення цих факторів та дій в надзвичайних ситуаціях.

У даному розділі розглянемо засоби охорони праці під час виконання досліджень, що проводилася на «Елітрон-26».

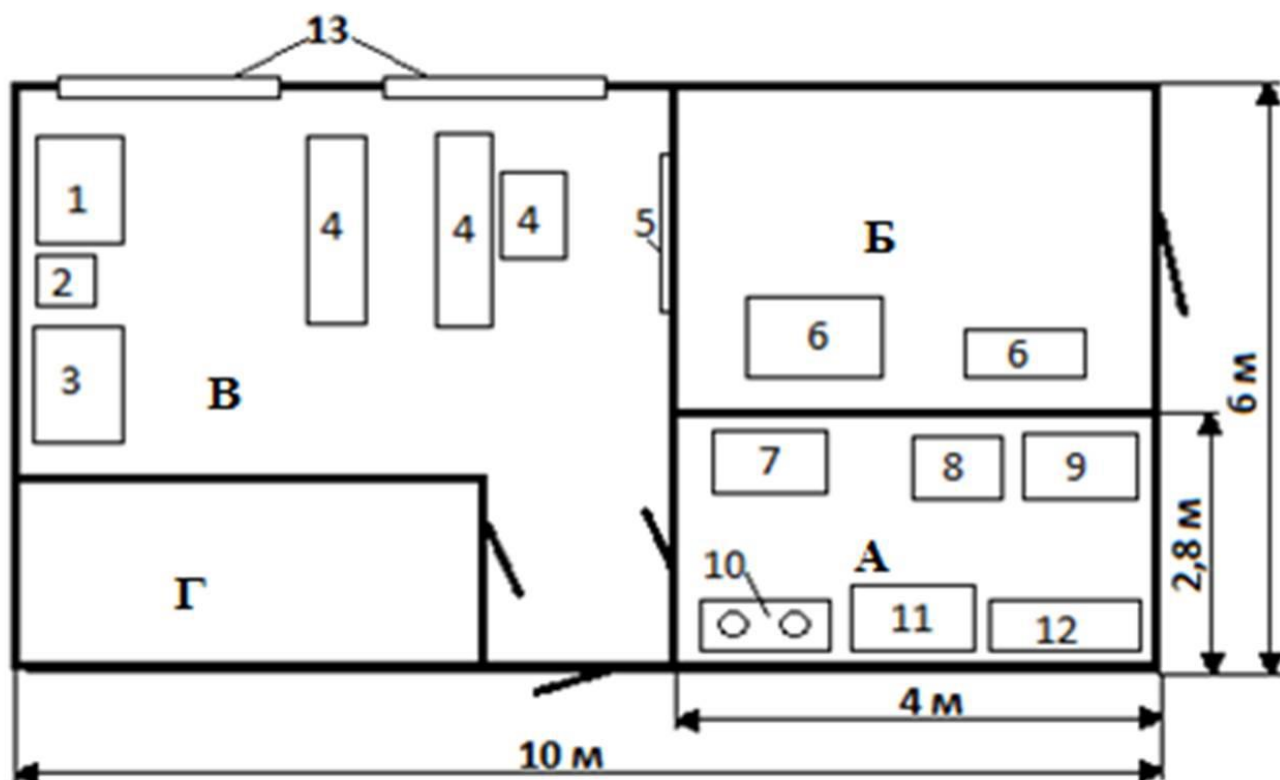
Аналізуючи умови праці при виконанні даної НДР потрібно розглянути наступні фактори:

- мікроклімат;
- освітлення;
- шум та вібрації;
- вентиляція;
- електричний струм;
- випромінювання.

4.1 Параметри приміщення

Робота проводилась на кафедрі фізики металів (1 поверх навчального корпусу № 9) КПІ ім. Ігоря Сікорського) в ЕІЛ № 036. Зображення лабораторії, а також розташування всіх елементів показано на схематичному рисунку 4.1. Проведено вимірювання кімнати лабораторії, які наведені в таблиці 4.1. Основна частина роботи проводилася в лабораторії № 036 (А), тому для розрахунків була обрана дана кімната.

Згідно зі ДБН В.2.2 – 15 - 2015 [1] норма площі на одну особу становить $4,5 \text{ м}^2$, а норма об'єму приміщення на одну особу – 15 м^3 .



1 – твердомір ПМТ-3, 2 – тумба, 3 – комп'ютер, 4 – робочі столи, 5 – дошка, 6 – рентгенівська установка УРС-2, 7 – стіл для шліфування, 8 – прилад для вимірювання зносостійкості, 9 – прилад «Елитрон – 26», 10 – полірувальні круги, 11 – стіл, 12 – шафа, 13 – вікна

Рисунок 4.1 – Схема лабораторії (ЕІЛ) 036 корпусу №9

Таблиця 4.1 – Параметри кімнати лабораторії

Характеристика	Виміряні дані
Довжина, м	7
Ширина, м	6
Висота, м	3.8
Площа, м ²	42
Об'єм, м ³	159.6
Площа на одну особу, м ²	6
Об'єм на одну особу, м ³	42

Розрахуємо площу та об'єм на одну особу для даної аудиторії, за умовою, що кількість працюючих становить дві особи:

$$Sp = \frac{11,2}{2} = 5,6\text{м}^2,$$

$$Vp = 42,56/2 = 21,28\text{м}^3$$

Тобто, лабораторія 036 (А) - 9, згідно з ДБН В.2.2 -15-2015 [32] відповідає нормам.

4.2 Фактори умов праці лабораторії №036

4.2.1 Аналіз мікроклімату лабораторії

Згідно ДСН 3.3.6.042-99 категорія важкості робіт – І б. Дана категорія містить в собі легкі фізичні навантаження до 150 Ккал/год. Результати дослідження та нормовані величини параметрів мікроклімату в робочій частині лабораторії № 039 показані в таблиці 4.2.1.

Таблиця 4.2 – Мікроклімат лабораторії

Категорія Робіт	Параметр мікро- клімату	Період року	Нормовані значення		Дані вимірю- вань	Висновок
			Оптимі- альні	Допус- тимі		
Легка 1б	Темпера- тура, С°	Теплий	22-24	19-30	26	Допустимо
		Холод- ний	21-23	17-25	24	Допустимо
	Відносна вологість повітря, %	Теплий	40-60	60	55	Оптимально
		Холод- ний	40-60	<75	65	Допустимо
	Швидкість руху повітря м/с	Теплий	0,2	0,1-0,3	0,2	Оптимально
		Холод- ний	0,1	≤0,2	0,15	Допустимо

Подивившись на вище сказане можна зробити висновок, що мікроклімат в даній лабораторії не є повністю оптимальним, але виміряні вище дані відповідають вимогам санітарних допусків норм, швидкість руху повітря та відносна вологість в теплий період року задовольняють вимоги ДСН 3.3.6.042-99 та є оптимальними.

4.2.2 Аналіз освітленості лабораторії

Освітлення лабораторій буває трьох видів: суміщене, природне і штучне. Природне у свою чергу ділиться на бічне, верхнє або комбіноване. Штучне – загальне та місцеве.

Є фактори, які сприяють на втомлення очей ними являються, надмірна або недостатня освітленість, нерівномірність освітлення, вони призводить до зниження продуктивності праці; при цьому збільшується потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків. Надмірно яскраве світло може сприяти головному болю, різь в очах, розлад гостроти зору; світлові відблиски – тимчасове засліплення.

У даній лабораторії здійснюється природне бокове освітлення (вікно з північного боку) та штучне. Відстань від вікна до місця основної роботи складає близько 1 м.

Освітлення, що забезпечує нормальні зорові роботи, є важливим фактором в організації і проведенні НДР, тому що при недостатньому освітленні підвищується втомленість, це погано впливає на здоров'я людини.

Освітлення лабораторії природне та штучне. Для місцевого освітлення використовуються лампи розжарювання, для загального – люмінесцентні ЛБ-40 (24 одиниці у лабораторії) [33].

4.2.3 Аналіз шуму та вібрації в лабораторії

Виробничий шум – це сукупність різних за гучністю і тоном звуків, що виникають у повітряному середовищі. Шуми бувають:

- механічні (під час роботи конвеєра, виконання завантажувальних або розвантажувальних робіт);
- електромагнітний (під час роботи електромагнітних пристроїв змінного струму);
- аеродинамічний (у разі витоку газів, руху повітря у вентиляційних камерах);
- гідродинамічний (під час руху води і різнноманітних рідин);
- повітряний (розповсюджується в повітряному середовищі);
- структурний (внаслідок коливання конструкцій стін, перекриттів, перегородок будівлі).

Для науково-дослідницької роботи я використовував установку «Елітрон-26», що видає деякий шум під час своєї роботи, також шум був присутній у процесі дослідження зразків на зносостійкість і під час дробоструменевої обробки.

У даному випадку присутній імпульсний шум. Так як робота на установках, які викликають шум, проводилась рідко, отже для захисту від шуму використали засоби індивідуального захисту такі, як біруші.

Граничні величини шуму на робочих місцях регламентуються ДСНЗ.3.6.037-99 [34]. У ньому закладено принцип встановлення певних параметрів шуму, виходячи з класифікації приміщень за їх використанням для трудової діяльності різних видів.

Загальну технологічну вібрацію за місцем дії поділяють на такі типи:

- на постійних робочих місцях виробничих приміщень підприємств;
- на робочих місцях складів, їдалень, побутових, чергових та інших
- виробничих приміщень, де немає джерел вібрації;
- на робочих місцях заводоуправлінь, конструкторських бюро, лабораторій, обчислювальних центрів, медпунктів, конторських приміщень, робочих кімнат та інших приміщень для працівників розумової праці.

За джерелом виникнення локальну вібрацію поділяють на таку, що передається від:

- ручних машин або ручного механізованого інструменту, органів керування машинами та устаткуванням;
- ручних інструментів без двигунів (наприклад, рихтувальні молотки) та деталей, які обробляються.

Під впливом вібрації на організм людини може спостерігати, що є зміни в діяльності серцевої та нервової системи, зміни в суглобах, спазм судин, що призводить до обмеження їх рухомості. Також якщо працівник піддається нетривалій дії вібрації, то він швидше втомлюється, тому продуктивність його праці знижується. Постійна або тривала дія вібрації може призвести до професійного захворювання, таке як вібраційну хворобу. Під час розвитку цієї хвороби відчувається оніміння, відчуття мурашок по шкірі, біль у суглобах тощо.

Таку хворобу, як вібраційну ефективно лікувати на початковій стадії розвитку. Особливо небезпечна дія вібрації робочих місць з частотою, яка є резонансною з частотою коливання деяких органів чи частин тіла людини, що може призвести до їх механічного пошкодження. Для більшості частини внутрішніх органів людини частота власних коливань становить (6–12)Гц.

Ступінь та характер впливу вібрації на організм людини залежить від виду та параметрів, а також від напрямку її дії.

Вібрації спостерігалися на установках для стирання, ЕІЛ та дробоструменевої обробки.

Засоби та заходи для захисту від дії вібрації за організаційною ознакою поділяються на колективні та індивідуальні. Колективні заходи та засоби віброзахисту можна розподілити за такими напрямками:

- зниження вібрації в джерелі її виникнення;
- зменшення параметрів вібрації на шляху її поширення від джерела;
- організаційно-технічні заходи;
- лікувально-профілактичні заходи.

4.2.4 Розрахунок вентиляції

Конструкція місцевих вентиляційних проходів вибирається залежно від виду технологічного процесу, обладнання та оснащення. Конструкція необхідна для забезпечення чистоти повітря на робочому місці при найменших витратах повітря, яке видаляється, запобігати розповсюдженню шкідливих речовин по всьому приміщенню, не заважати виконанню робочих процесів. Вентиляційні відсмоктувачі повинні знаходитись максимально близько до джерела виділення шкідливих речовин. Типові схеми та конструкції відсмоктувачів, а також методи їх розрахунку узагальнено в методичних вказівках до проектування.

Розрахунок об'єму повітря, яке потрібно видалити місцевою вентиляцією L_m , визначають, виходячи з заданої швидкості всмоктування біля джерела виділення шкідливих речовин, характеристики спектру швидкостей всмоктування для певної конструкції всмоктувального отвору та наявності поверхонь, що огорожують зону всмоктування. У цьому випадку:

$$L_m = 3600 \times F_0 \times V_0, \quad (4.3)$$

де F_0 – площа відкритого перерізу витяжного отвору відсмоктувача, м^2 ;

V_0 – швидкість всмоктування повітря у цьому прорізі, м/с .

Площу F_0 визначають конструктивними особливостями технологічного обладнання та вибраного витяжного пристрою.

При застосуванні електродугових та плазмових технологій значення V_0 знаходять, виходячи з умов забезпечення заданої швидкості повітря V_x ($0,5 \text{ м/с}$) у зоні електричної дуги на відстані X ($0,45 \text{ м}$) від центра всмоктуючого отвору:

$$V_0 = 16 \times V_x \times (X/d)^2, \quad (4.4)$$

де d – діаметр вентиляційного отвору, м .

На рисунку 4.3 зображено вентиляційну схему лабораторії.

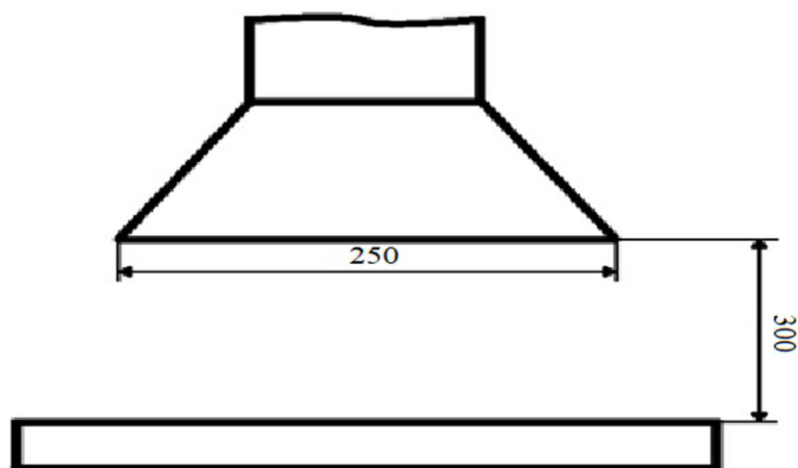


Рисунок 4.3 – принципова схема місцевої вентиляції необхідної для проведення ЕІЛ.

З розрахунків встановлено, що швидкість всмоктування повітря у цьому прорізі V_0 має становити 11,52м/с, а об'єм повітря, що повинно бути видалене місцевою вентиляцією L_m – 1036м³/год.

4.2.5 Електричний струм

Відповідно діючим правилам побудови електроустановок ПУЕ-2017 приміщення лабораторій з точки зору небезпеки враження людини електричним струмом відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки електротравм [35].

Це сухі приміщення з середньою температурою повітря від 18°C до 25°C та струмонепровідною підлогою. Електроустановки, що використовуються при виконанні даної НДР, живляться напругою 220В змінного струму частотою 50Гц. Причинами враження електричним струмом під час виконання трудового процесу з електрообладнанням є:

- випадковий дотик до струмоведучих частин, які перебувають під напругою, через відсутність засобів недоступності або безвідповідальне відношення до правил безпеки працівників;
- дотик до не струмо-ведучих частин електроприладів, які випадково потрапили під напругу через ушкодження ізоляції чи іншого ушкодження;

- потрапляння під напругу під час проведення ремонтних робіт на відключених електроприладах через помилкове їх включення.

Вплив електричного струму дуже небезпечний для здоров'я людини, ураження електричним струмом може призвести до трагічних наслідків. Найбільш імовірність смертельного результату при враженні електричним струмом вище, ніж при інших виробничих травмуваннях.

Величина струму, що протікає через яку-небудь ділянку тіла. При розробці захисних заходів, вважають небезпечним струм у 25мА, при якому важко самотійно відірватись від провідника, а струм величиною 100мА може призвести до смертельного результату [36].

До напруги 42 В найбільш небезпечний перемінний струм, а більше 42В вплив однаковий як постійного так і перемінного струму.

Найбільш небезпечна частота в діапазоні від 50 Гц до 60 Гц.

Основними заходами захисту від ураження електричним струмом є:

- забезпечення недоступності струмопровідних частин для випадкового дотику;
- застосування електроенергії з безпечними величинами напруги;
- усунення небезпеки ураження людей струмом у разі появи напруги на частинах конструкцій електроустаткування;
- застосування індивідуальних захисних засобів від ураження електричним струмом.

У лабораторії, де проводилися дослідження, є наступні електроприлади: ПЕОМ, «Елітрон-26», ПМТ-3, полірувальні круги, прилад для вимірювання зносостійкості.

У лабораторії вірно виконане захисне заземлення корпусів, електроустаткування і приладів. Розташування робочих місць таке, що виключається можливість дотику до корпусів, електроустаткування і приладів [37].

4.2.6 Фактор випромінювання

Дані про виробничі випромінювання нормуються документом: Санітарні правила і норми «Гігієнічні вимоги до відео-дисплейних терміналів, ПЕОМ і організації роботи» ДСанПіН 3.3.2-007-98 [38].

При роботі з ЕОМ, яка входить в устаткування, виникає небезпека впливу на організм робітника: невикористаного рентгенівського випромінювання, ультрафіолетового випромінювання, електростатичного поля.

Для попередження соматичних та генетичних наслідків для побутової радіоелектронної апаратури встановлені норми потужності експозиційної дози рентгенівського випромінювань, яке не повинно перевищувати $2,78 \times 10^{-12}$ мкР/с (100 мкР/год) в будь-якій точці на відстані 5 см від зовнішньої поверхні, яка обернена до оператора. Потужність експозиційної дози НРВ в будь-якій точці простору на відстані 0,05 м від корпусу установки не повинна перевищувати 0,07 мкР/с при робочому тижні 41 година. Враховуючи, що робота більшою частиною проводиться за ЕОМ, запропоновано щоб час роботи за монітором не перевищував 4 години за зміну, з технологічними перервами.

4.3 Забезпечення безпеки та запобігання надзвичайній ситуації

Події, при яких нормальні умови життя та діяльність людей порушуються і можуть спричинити смерть або значну втрату майна, називаються надзвичайними ситуаціями. Тяжкість надзвичайної ситуації головним чином залежить від кількості жертв та ступеня впливу на довкілля.

«Класифікатор надзвичайних ситуацій» ДК 019:2010 національний класифікатор (КНС) – один із компонентів набору національних класифікаторів. В даному класифікаторі перелічені сучасні надзвичайні ситуації (НС), їх назви які впорядковані, що трапляються в Україні, та зазначені їх коди.

Класифікують надзвичайні ситуації за ступенем жертв, пошкодженням майна, за характером пошкодження та ступенем поширення.

Відповідно до характеру походження події, яка може призвести до надзвичайної ситуації в Україні, визначаються такі типи надзвичайних ситуацій:

- воєнна надзвичайна ситуація;
- техногенна надзвичайна ситуація;
- природна надзвичайна ситуація;
- соціальна надзвичайна ситуація.

Виходячи з величини наслідків скоєних надзвичайною ситуацією, розмірів матеріальних і технічних ресурсів, числа загиблих та постраждалих, потрібних для усунення цих наслідків, окреслюють наступні рівні надзвичайної ситуації.

Залежно від обсягів заподіяних надзвичайною ситуацією наслідків, кількості постраждалих і загиблих, обсягів технічних і матеріальних ресурсів, необхідних для ліквідації її наслідків, визначають такі рівні надзвичайних ситуацій:

- об'єктовий;
- місцевий;
- регіональний;
- державний.

Блок розпізнавання має ієрархічну систему класифікації з трьома рівнями класифікації: клас, підклас, група та кодом з цифр довжиною п'ять розрядів. У ДКНС затверджено метод послідовного кодування.

На рис. 4.3 зображене кодове позначення ДКНС, його загальна структура.

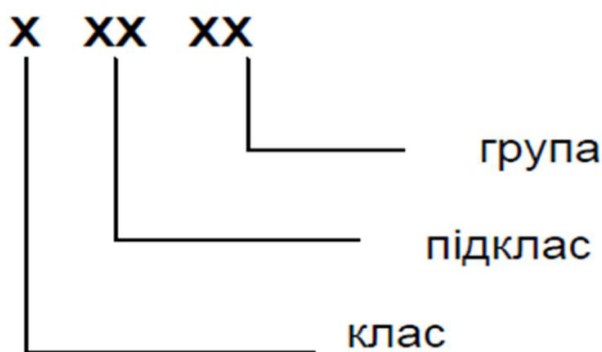


Рисунок 4.3 – Структура кодового позначення ДКНС

Надзвичайна ситуація яка виникла унаслідок вибухів або пожежі має код 10200.

Запобігання появи надзвичайної ситуації – це формування та втілення сукупності певних заходів, а саме: соціальних, політичних, економічних, санітарно-гігієнічних, правових, організаційно-технічних та інших, направлених на встановлення рівня оцінки ризику, регулювання безпеки, рання реакція на загрозу надзвичайних ситуацій на основі даних моніторингу (спостережень), експертизи, прогнозів та досліджень стосовно можливого розвитку подій для того щоб не дати їм перерости у НС або пом'якшення її можливий вплив. Вказані функції уникнення щодо НС природного та техногенного характеру в нашій країні здійснює єдина державна система реагування та запобігання надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру належать центральні та місцеві адміністративні органи, виконавчі органи ради, державні підприємства, установи та організації, вони оснащені відповідними силами та засобами для нагляду за забезпеченням техногенної та природної безпеки, а також організовують профілактичні роботи для захисту Населення та навколишнє середовище, зменшити надзвичайні ситуації техногенного та природного походження та реагувати на ситуації.

Проаналізуємо можливість появи пожежі в приміщенні, де проводяться дослідницькі роботи науковців.

Поява пожежі у лабораторії малоймовірна, але вона є. Оскільки експеримент проводився з використанням рідкого металу і влиттям його у форму, тому можна розбризкати його на підлогу або інші матеріали.

Пожежа належить до першої категорії надзвичайних ситуацій, спричинених людиною.

За пожежною безпекою лабораторія відноситься до категорії Г.

У випадку пожежі в лабораторії можливе загоряння:

- паркет;
- штори;
- електроустановки та їхня проводка;

- шафи;
- паперові документи, що знаходяться в них.

Пожежа може статися в лабораторії з таких причин:

- несправність електроустаткування;
- ремонт устаткування на ходу;
- порушення технологічного режиму;
- неправильне користування устаткуванням;
- необережне звертання з вогнем.

4.3.1 Пожежна безпека

З метою запобігання виникненню пожеж необхідно усувати перелічені дефекти і суворо дотримуватися правил пожежної безпеки, мінімізувати їх наслідки та за можливості усувати умови, що провокують таке виникнення. Коли в електричному приладі, що працює під напругою, виникає пожежа, полум'я не гаситиметься водою, але будуть використовуватися вуглекислий газ або бромоетилові вуглекислотні вогнегасники.

Якщо лабораторія горить, є водопровід, порошковий вогнегасник ВП-5, а в коридорах або на сходових клітках ящики з піском, пожежні крани, вогнегасники ОП-1Б, ОХП-10. Кімната обладнана автоматичною комбінованою системою пожежної сигналізації (оповідач КІ 1). На кожному поверсі будівлі також є плани евакуації.

Головними заходами по пожежній безпеці є:

- постійна перевірка засобів гасіння пожежі на працездатність і функціонування систем пожежної сигналізації;
- перевірка електричної проводки на справність;
- щорічна перевірка опору ізоляції шляхом підвищення напруги близько 500В; ретельне поводження з легкоплавкими речовинами.

Пожежна безпека об'єкта – стан об'єкта, за яким з регламентованою імовірністю виключається виникнення і розвитку пожежі та впливу на людей її небезпечних факторів, а також забезпечується захист матеріальних цінностей [9].

Основним напрямком підтримання пожежної безпеки є усунення пожежних умов та мінімізація їх наслідків.

За агрегатним станом та характеристиками горіння різних горючих речовин та матеріалів пожежі, що проводяться відповідно до, поділяються на відповідні категорії та підкатегорії. За пожежною безпекою лабораторія належить до категорії В, так як там знаходяться тверді матеріали та важко горючі речовини, в той же час вона одночасно не відноситься до категорій А, Б.

План евакуації в разі виникнення пожежі наведено на рисунку 4.4

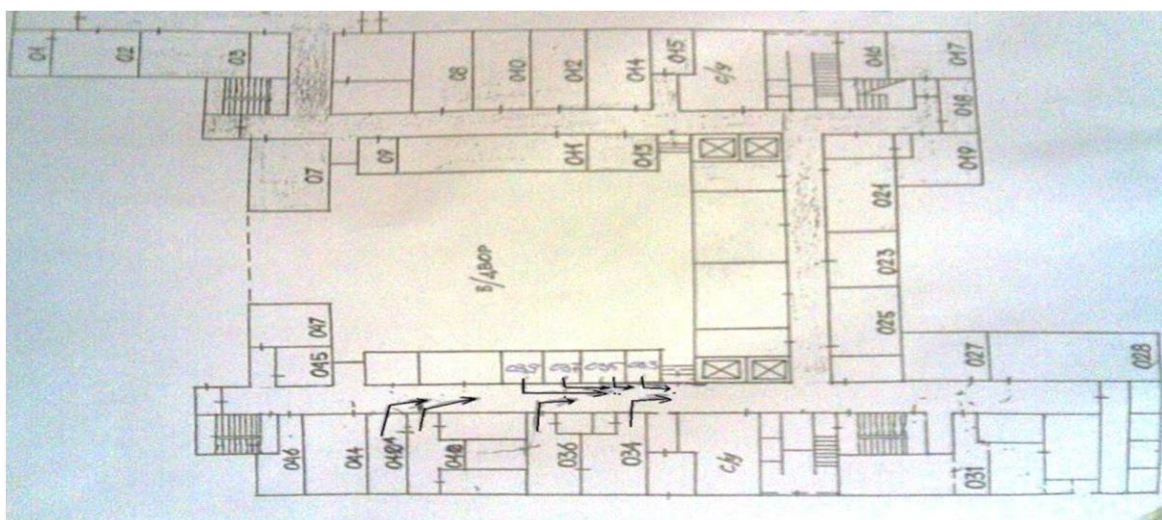


Рисунок 4.4 – План евакуації

4.3.2 Безпека в аварійних ситуаціях

Якщо напруга на корпусі дугового пристрою виходить з ладу, перемикач необхідно розімкнути і повідомити майстра або керівника ділянки.

У випадку коли хтось потрапить під напругу, потрібно негайно вимкнути від мережі електродуговий агрегат, потерпілого покласти на дерев'яну поверхню, підклавши під голову щось м'яке, викликати швидку допомогу за телефоном 103 і, якщо це потрібно, зробити потерпілому штучне дихання.

У разі загоряння дугового пристрою перемикач необхідно вимкнути, а для гасіння вогню використовувати вогнегасник.

У разі виявлення пожежі або загорання, кожна людина яка знаходиться у приміщенні повинна виконати такі дії:

- негайно повідомити про цей випадок в пожежну охорону за телефоном 101;
- виконати дії щодо гасіння пожежі засобами, що знаходяться в приміщенні для пожежогасіння (пожежний кран, вогнегасник, пісок, тощо);
- викликати посадових осіб на місце пожежі (начальника цеху, дільниці).

У разі отримання травми необхідно повідомити про це майстра, завідувача відділення та зв'язатися з медичним центром.

4.4 Висновок до розлілу 4

Розраховано та показано систему вентиляції для забезпечення чистоти повітря в лабораторії при проведенні методу ЕІЛ.

Розглянуто небезпечні фактори травмування працівників, а також розглянуті методи уникнення таких травмувань в процесі створення легованого шару електроіскровим легуванням.

Такі фактори, як мікроклімат, організація робочого місця та освітлення в лабораторії 036/9 відповідають вимогам санітарних норм.

5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП – ПРОЕКТУ

5.1 Опис ідеї проекту

Даний розділ стартап-проекту полягає в проведенні маркетингового аналізу продукції для визначення можливостей цього продукту на ринку, а також визначення напрямків реалізації. Основна ідея проекту наведена у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартап-проекту [39]

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Технологія створення зміцненого покриття, що покращує фізико механічні властивості поверхні сталі ХВГ	Машинобудівні організації	Деталі з покращеною поверхнею, які менш схильні до стирання та зносу
	Гірничо видобувна промисловість	Інструменти, що не підлягають постійному заточуванню
	Поліграфія	Міцніші вироби, що здатні витримувати більше робочих годин
		Екологічно чистий процес.

Показані дані у табл. 5.1 дали уявлення про зміст ідеї стартап-проекту, а також показали можливі потенційні ринки реалізації продукту.

Доцільно буде порівняти технологію обробки поверхні сталі ХВГ з конкурентами на прикладі, кінцевого продукту, обробленої ріжучої кромки леза поліграфічного обладнання.

Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей, з яких можна сформулювати конкурентоспроможність проекту (табл. 5.2.).

Таблиця 5.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик розробки модифікованого покриття на сталі ХВГ, методом ЕІЛ анодами Cr, W

п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) послуги конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проєкт	Азов-сталь (Маріуполь)	Кривбасс Кривий ріг	Запоріжсталь Запоріжжя			
1	Низьку собівартість виробу	Має	Має	Має	Має	-	-	+
2	Екологічність	Має	Немає	Має	Немає	-	-	+
3	Зносостійкість	Має	Має	Немає	Немає	-	-	+
4	Мікротвердість	Має	Немає	Немає	Немає	-	-	+

5.2 Технологічний аудит ідеї проєкту

В межах даного підрозділу необхідно провести аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проєкту (технології створення товару). Головна ідея зміцнення покриття сталі ХВГ представлена у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Технологічна здійсненність впровадження технології створення зміцнюючого покриття на сталі ХВГ методом ЕІЛ анодами Cr та W [34].

Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Нанесення захисного зміцненого, тонкого шару	ЕІЛ анодами W та Cr за схемами W - Cr Cr - W	Технологія наявна, можлива доробка	Так, дані технології доступні.

З аналізом таблиці 5.3 можна зробити висновок, що зазначену ідею технологічно можливо реалізувати на виробництві. За даними дослідження було обрано найкраще покриття, з точки зору його фізико-механічних характеристик (мікротвердість, зносостійкість).

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Для планування напрямків розвитку проекту з врахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій конкурентів, необхідно визначити ринкові можливості, які можна використати під час впровадження проекту на ринок, та ринкові загрози, що можуть перешкоджати реалізації проекту. Попередня оцінка даного стартап-проекту на основі стану ринку та визначених потенційних галузей застосування занесена до табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту – розробка модифікованого покриття на сталі ХВГ, методом ЕІЛ анодами Cr, W.

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців (на території України)	5-10, в зв'язку з пандемією деякі підприємства зачиняються.
2	Загальний обсяг продаж, на 2020 рік	278 млн. євро
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Стагнує
4	Наявність обмежень для входу	Відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності (в галузі або на ринку)	15-20%

Таблиця 5.5 – Характеристики потенційних клієнтів стартап-проекту [40]

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Збільшення експлуатаційного строку деталі	Автомобільні запчастини.	Технічні стандарти та обсяги виробництва	Вартість кінцевого продукту.
2	Підвищення ріжучих характеристик	Дрібні та великі металеві запчастини		Час експлуатації та надійність запчастин

Аналіз даних таблиці 5.4 демонструє, що ситуація на ринку не дуже стабільна в зв'язку з пандемією, але ця ідея має всі підстави для можливості

впровадження модифікованого покриття на сталі ХВГ методом ЕІЛ. У табл. 5.5 визначено характеристики потенційних клієнтів.

Визначення потенційних клієнтів які показані в таблиці 5.5 та їх характеристик показують можливу реакцію майбутніх партнерів на непередбачених умови, що можуть виникнути в ринковому середовищі під час впровадження проекту на ринок. Для цього проведено аналіз ринкового середовища в ході якого розроблено таблиці, що показує ринкове впровадження проекту та фактори, які йому перешкоджають (табл. 5.6 та табл. 5.7).

Таблиця 5.6 – Фактори загрози [41]

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Нестабільність політично-економічної ситуації	Зниження обсягів поставок та попиту	Перенаправлення експортних потужностей на інші напрямки, вихід на існуючі ринки

Таблиця 5.7 – Фактори можливостей [42]

№ п/п	Фактор	Зміст можливостей	Можлива реакція компанії
1	Зниження вартості технології	Зменшення матеріально-технічних затрат	Збільшення обсягів виробництва та залучення нових клієнтів
2	Збільшення зносостійкості деталей	Застосування іншого виду обробки деталі	Економія коштів та більш екологічна продукція з точки зору збереження навколишнього середовища
3	Підвищення екологічності	Зниження екологічного податку	

Після аналізу конкуренції на ринку проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю п'яти сил М. Портера).

М. Портер вирізняє п'ять основних факторів, що впливають на привабливість вибору ринку з огляду на характер конкуренції. Це:

- конкурент, що вже є у галузі;

- потенційні конкуренти;
- наявність товарів-замінників;
- постачальники, що конкурують за ринкову владу;
- споживачі.

Таким чином, ми визначили середні значення впливу появи нових конкурентів, сили впливу товарів-замінників, сили впливу покупців, сили впливу постачальників, інтенсивності конкуренції між фірмами [43].

Кінцевим етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних та слабких сторін, загроз та можливостей) (табл. 5.8) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, сильних і слабких сторін.

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей показується на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: зменшення доходів потенційних споживачів є фактор загрози, на принципі якого можна зробити попередній прогноз щодо посилення значущості цінового фактору при виборі товару та відповідно, – цінової конкуренції (а це вже – ринкова загроза).

Дослідження даної технології покращення поверхні виготовлення модифікованого покриття на сталі ХВГ, методом ЕІЛ ще триває, тому неможливо дати вичерпну інформацію стосовно ринкової спроможності та створити маркетингову модель товару. Магістерська дисертація була спрямована на дослідження фізикомеханічних властивостей покриттів сформованих на поверхні сталі ХВГ, методом ЕІЛ анодами Cr, W. Створення модифікованих покриттів методом ЕІЛ анодами Cr, W є перспективним методом для підвищення зносостійкості деталі на сталі ХВГ.

Таблиця 5.8– SWOT - аналіз стартап – проекту [44]

Сильні сторони: Покращені механічні властивості кінцевого виробу (мікротвердість, зносостійкість), що дає змогу збільшити строк експлуатації при цьому збільшити екологічність завдяки мінімальним витратам на матеріал обробки).	Слабкі сторони: Потрібне додаткове інвестування для створення прототипу пристрою для обробки деталей у промисловому масштабі, а також час для налагодження виробництва, що може негативно позначитись на початковому прибутку компанії
Можливості: Приймати участь у проєктах, що фінансуються компаніями для наукових розробок.	Загрози: Нестабільність політично-економічної ситуації, що негативно впливає на обсяг коштів для інвестування

5.4 Висновок до розділу 5

Аналіз ринкової спроможності розліду стартап-проєкту «Розробка модифікованого покриття на сталі ХВГ, методом ЕІЛ анодами Cr, W», засвідчив, що даний метод для обробки будь-яких деталей виготовлених зі сталі ХВГ є перспективним, та ще на стадії розробки.

Визначено, що можливість впровадження даної технології, опираючись на огляд потенційних груп клієнтів, незначна. Однак позитивним моментом є те, що головні конкуренти є потенційними клієнтами, що значно підвищує імовірність співпраці з компаніями.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено можливість створення зміцнених покриттів на сталі ХВГ при електроіскровому легуванні Cr та W, а також при постадійному легуванні цими елементами у різних послідовностях.

2. Виявлений вплив послідовності ЕІЛ Cr та W на мікротвердість, фазовий склад та зносостійкість легованого поверхневого шару на сталі ХВГ. ЕІЛ в послідовності W - Cr приводить до мікротвердості 12 ГПа та зростанню зносостійкості у 3,7 разів у порівнянні з необробленим зразком, а при послідовності Cr - W приводить до меншої мікротвердості – 10 ГПа, а зносостійкість зростає у 6,5 разів.

3. З'ясовано, що послідовність нанесення W та Cr в процесі електроіскрового легування сталі ХВГ впливає на товщину легованого поверхневого шару. При послідовності ЕІЛ W - Cr товщина складає 20 мкм, тоді як послідовність Cr - W дає більшу товщину легованого шару – 35 мкм.

4. В розділі охорони праці та безпеки в надзвичайних подіях розглянуто лабораторію 036\9 в якій проводились дослідження. Також розглянули фактори умови праці такі, як (мікроклімат, освітленість, шум та вібрації, розрахували вентиляцію, електричний струм та фактор випромінювання). Розглянувши фактори можу сказати, що дана лабораторія відповідає вимогам санітарних норм.

5. З аналізу розділу стартап проекту можна сказати, що даний метод для обробки сталі ХВГ ще на стадії розробки, та є перспективним.

CONCLUSIONS

1. The possibility of creating reinforced coatings on HVG steel by electrospark doping of Cr and W, as well as by stepwise doping of these elements in different sequences is established.

2. The influence of EIL Cr and W sequences on microhardness, phase composition and wear resistance of the alloyed surface layer on HVG steel is revealed. EIL in the sequence W - Cr leads to a microhardness of 12 GPa and an increase in wear resistance of 3.7 times compared to the untreated sample, and in the sequence Cr - W leads to a lower microhardness - 10 GPa, and wear resistance increases by 6.5 times.

3. It was found that the sequence of application of W and Cr in the process of electrospark alloying of HVG steel affects the thickness of the alloyed surface layer. In the sequence of EIL W - Cr thickness is 20 μm , while the sequence Cr - W gives a greater thickness of the doped layer - 35 μm .

4. In the section of labor protection and safety in emergency events the laboratory 036 \ 9 in which researches were carried out is considered. Factors such as working conditions (microclimate, light, noise and vibration, ventilation, electric current and radiation factor) were also considered. Considering the factors, I can say that this laboratory meets the requirements of sanitary norms.

5. From the analysis of the startup section of the project we can say that this method for processing HVG steel is still under development, and is promising.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лазаренко Н.И. Технологический процесс изменения исходных свойств металлических поверхностей электрическими импульсами Электроискровая обработка металлов / Н.И. Лазаренко – М.: Изд-во АН СССР. 1960. – С. 36–66
2. Лазаренко Н.И. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Н.И. Лазаренко – М.: Машиностроение, 1976. – 47 с.
3. Верхотуров А.Д. Формирование поверхностного слоя металлов при электроискровом легировании / А.Д. Верхотуров. – Владивосток: Дальнаука, 1995.
4. Повышение эффективности поверхностного упрочнения при электроискровом легировании деталей машин / Б.И. Лукичѳв, Ю.А. Белобрагин, С. В. Усов [и др.] //Электронная обработка материалов. 1987. - №4. - С.22 - 25.
5. Ким В.А. Самоорганизация в процессах упрочнения, трения и изношевания режущего інструмента / В.А. Ким – Владивосток: Дальнаука, 2001. – 199с.
6. Кинетика обратного массопереноса при электроискровом легировании и формирование вторичной структуры на аноду / А.Д. Верхтуров, И.А. Подчерняева, Л.Н. Куриленко, Л.П. Половцев // Физика и химия обработки материалов. – 1986. – №4. – С.65-68.
7. Лубан Р.Б. О возможном механизме массопереноса при электроискровом легировании металлов / Р.Б. Лубан, Л.С. Пеккер // ЭОМ. –1991. – №8 – С.13 – 15.
8. Иванова Е.В. Феноменологическая модель электроискрового легирования / Е.В. Иванова // Статья в сборнике трудов конференции: “Качество в производственных и социально – экономических системах” – 2016 – С.183-185.
9. Mulin Yu. I. Phenomenological description of regularities of surface layers formation under electric – spark alloying / Yu. I. Mulin, L. A. Klimova, D.V. Yarkov// Article – 2000.

10. Электроискровое легирование металлических поверхностей/Б.Р. Лазаренко, В.С. Коваленко, А.Д. Верхотуров, Л.Ф. Головкин, И.А. Подчерняева – М.: Наука, 1986. – 276 с.
11. Дмитрієв С. Л. Основи пожежної безпеки / С. Л. Дмитрієв, С. В. Нестеренко. – Харків: ХНАМГ, 2008. – 64 с.
12. Лазаренко Б.Р. Электроискровая обработка токопроводящих материалов / Б.Р. Лазаренко, Н.И. Лазаренко – М.: изд. АН МССР, 1959. –183с.
13. Электроискровое легирование металлических поверхностей / Г.В. Самсонов, А.Д. Верхотуров, Г.А. Бовкун, В.В. Сычев – К. Наук. Думка, 1976, 220с.
14. Ковришкін М.О. Методи формування покриттів на різальному інструменті / М.О. Ковришкін, О.В. Шевченко, С.О. Довжук // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація / Кіровоградський національний технічний університет – 2010 Вип. 23. – С. 344 – 351.
15. Zahid Ziyadkhan Sharifov. The anode material selection for electrosark alloying (ESA) and mass transition phenomena / Zahid Ziyadkhan Sharifov, Farid Gurbanov // The international journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation / Azerbaijan State Marine Academy, Baku – 2017 – Volume 11 – №4 – 623-626.
16. Лобачова Г.Г. Поверхневе зміцнення сплавів заліза електроіскровим легуванням цирконієм, титаном, хромом та хімікотермічною обробкою: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.16.01 “Металознавство та термічна обробка металів” / Г.Г. Лобачова. – Київ, 2012. – 20 с.
17. Surface hardening of metallic alloys by electrosark deposition followed by plasma nitriding / M.A. Bejar, W. Schnake, W. Saavedra, J.P. Vildosola // Journal of Materials Processing Technology // 2006 – Volume 176 – Issues 1-3 – pages 210 – 213.
18. Nikolenko S.V. Investigation of Coatings Produced by the Electrosark machining methjd jf steel 45 with electrodes based on carbides of tungsten and titanium /

- S.V. Nilolenko // Properties of metals and physical chemistry of surface. – 2017 – 53(No.5) – pp. 543-549.
19. Лякишев Н.П. Диаграммы двойных металлических систем. Том 1 – под общей реакцией Н.П. Лякишева – М.: Изд-во Машиностроение. 1996.
 20. Nagender Naidu S.V. Phase diagrams of binary tungsten alloys / S.V. Nagender Naidu, A.M Sriramamurthy, P. Rama Rao // J. Alloy Phase Diagrams – 1986 V.2 N.3 P. 176-188.
 21. Nagender Naidu S.V. Binary Alloy Phase Diagrams, II Ed., Ed. T.B. Massalski - Vol. 3, 1990, p 2882-2883
 22. Хром как тугоплавкий, но очень полезный в строительстве металл. Режим доступа: <http://stroyres.net/metallicheskie/vidyi/tsvetnyie/hrom/ponyatie-poleznost-iosobennosti.html>. – Дата доступа: 17.10.2018. – Строительные материалы.
 23. Electrosark graphite alloying of steel surface: technology, properties and application / Viacheslav Tarelnyk, A.V. Paustovskii, Yu.G. Tkachenko, O.P. Gaponova / Surface Engineering and Applied Electrochemistry – 2018. – 54(2) – p. 147-156.
 24. Сидоренко С.І. Матеріалознавство і розробка електронної техніки / С.І. Сидоренко, Є.В. Іващенко, Г.Г. Лобачова // Науковий вісник КУЕІТУ. – 2013. – №3-4(41-42). – С. 3-7.
 25. Лякишев Н.П. Диаграммы двойных металлических систем. Том 2 – под общей реакцией Н.П. Лякишева – М.: Изд-во Машиностроение. 1996
 26. Лякишев Н.П. Диаграммы двойных металлических систем. Том 3 – под общей реакцией Н.П. Лякишева – М.: Изд-во Машиностроение. 1996
 27. Металлургический словарь. Принцип Шарпі. Режим доступа: https://metallurgy_dictionary.academic.ru/3831/%D0%A8%D0%90%D0%A0%D0%9F%D0%98_%D0%9F%D0%A0%D0%98%D0%9D%D0%A6%D0%98%D0%9F. – Дата доступа: 12.12.18. – Академик.

28. Диффузионные карбидные покрытия / Лоскутов В.Ф., Хижняк В.Г., Куницкий Ю.А., Киндрачук М. В. – Киев: Техника, 1991 – 168с.
29. Комплексні карбідні покриття на металах і сплавах /Лоскутова Т.В., Сігова В.І., Хижняк В.Г., Лоскутов В.Ф. –Суми: Вид-во СумДУ, 2009. – 190 с.
30. Микроскопы металлографические агрегатные ЕС МЕТАМ РВ. Режим доступа: http://granat-e.ru/ec_metam_rv.html. Дата доступа: 21.10.2018. – Гранат.
31. Tarelnyk Viacheslav. Electrospark graphite alloying of steel surface: technology, properties and application / Viacheslav Tarelnyk, A.V. Paustovskii, Yu.G. Tkachenko, O.P. Gaponova / Surface Engineering and Applied Electrochemistry – 2018. – 54(2) – p. 147-156.
32. Surface hardening of metallic alloys by electrospark deposition followed by plasma nitriding / M.A. Bejar, W. Schnake, W. Saavedra, J.P. Vildosola // Journal of Materials Processing Technology // 2006 – Volume 176 – Issues 1-3 – pages 210 – 213.
33. Желібо Є.П., Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів освіти України I-IV рівнів акредитації/ Є.П.Желібо, Н.М.Заверуха, В.В.Зацарний – Київ: «Каравела». – 2001. – 320 с.
34. Инструкция «Рекомендации по нанесению износостойких покрытий на инструмент из быстрорежущей стали на установке «Булат 21М». – Харьков: Укроргстанкинпром, 1981. – 23 с.
35. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
36. Санитарные правила работы с источниками неиспользуемого рентгеновского излучения: СП 1960-79.
37. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. –К.: Міненерговугілля України, 2017. –617 с.
38. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці / В. Ц. Жидецький, В. С. Джигирей, О.В. Мельников. – Львів: Афіша, 2000. – 348 с.

39. Юдина Н. В. Антикризисные маркетинговые инструменты инновационного развития предприятий / Н.В. Юдина // Маркетинг и финансы. – 2014. – Т. 1. – С. 60– 72.
40. Современное состояние и развитие стартапов / Л.Т. Безрукова, Ю.Н. Степанова, И.И. Шанин, Ю.В. Дуракова //Успехи современного естествознания. Экономические науки. – №1, 2015. – С. 95-97.
41. Юдіна Н. В. Визначення циклічних залежностей в економіці України на основі аналізу окремих макроекономічних показників. Економічний Вісник НТУУ «КПІ». №13(2016). <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/80084/75643>
42. Современное состояние и развитие стартапов / Л.Т. Безрукова, Ю.Н. Степанова, И.И. Шанин, Ю.В. Дуракова //Успехи современного естествознания. Экономические науки. – №1, 2015. – С. 95-97.
43. Луника М. Н. Упрочнение поверхности стали карбидами титана и хрома / М.Н. Луника // Металловведение и термическая обработка металлов, 1993. – № 2. – С. 18–20.
44. Харниш В. Правила прибыльных стартапов : как расти и зарабатывать деньги / В. Харниш ; пер. с англ. В. Хозинского. – Москва : Манн, Иванов и Фербер, 2012. – 279 с.].